



(19) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES

PATENT- UND  
MARKENAMT

(12) Übersetzung der  
europäischen Patentschrift  
(97) EP 0548 266 B 1  
(10) DE 691 31 276 T 2

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>:  
G 01 N 27/416  
G 01 R 31/36

DE 691 31 276 T 2

- (21) Deutsches Aktenzeichen: 691 31 276.1
- (86) PCT-Aktenzeichen: PCT/US91/06091
- (96) Europäisches Aktenzeichen: 91 918 255.0
- (87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 92/04626
- (86) PCT-Anmeldetag: 27. 8. 91
- (87) Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: 19. 3. 92
- (97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 30. 6. 93
- (97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: 26. 5. 99
- (47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 30. 12. 99

(30) Unionspriorität:  
579817 10. 09. 90 US

(17) Erfinder:  
gleich Anmelder

(73) Patentinhaber:  
Champlin, Keith S., Minneapolis, Minn., US

(74) Vertreter:  
Eisenführ, Speiser & Partner, 80335 München

(84) Benannte Vertragstaaten:  
DE, FR, GB, IT

(54) ELEKTRONISCHER TESTER ZUM BEWERTEN DER KAPAZITÄT EINER BATTERIE/ZELLE

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 691 31 276 T 2

30.07.93

91 918 255.0-2214 (EP 0 548 266)

- 1 -

### B e s c h r e i b u n g

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur sofortigen Bewertung der gespeicherten Energiekapazität von einzelnen Zwei-Volt-Blei/Säure-Zellen und Batterien, die sich aus solchen Zellen zusammensetzen. Sie betrifft insbesondere bestimmte Weiterentwicklungen der Technik zum Prüfen des dynamischen Leitwerts, die zunächst zum Bestimmen der verfügbaren Anlaßkapazität von Starterbatterien für Kraftfahrzeuge entwickelt worden sind, wobei sich diese Weiterentwicklungen auf die Bewertung der gespeicherten Energiekapazität von Tiefentladebatterien und deren einzelnen Zellen beziehen. Die Technik des dynamischen Leitwerts speziell zur Bewertung der Anlaßkapazität ist bereits in den für Keith S. Champlin erteilten US-Patenten 3,873,911; 3,909,708; 4,816,768; 4,825,170; 4,881,038 und 4,912,416 offenbart worden.

Die sog. Blei/Säure-"Tiefentlad"-Batterien werden in vielen Bereichen eingesetzt, in denen über relativ lange Zeit kontinuierlich Energie abgegeben werden muß. Derartige Batterien, die sich aus in Reihe geschalteten Gruppen von Zwei-Volt-Zellen zusammensetzen, werden in Kraftwerken, Umspannwerken, Telefonzentralen, Eisenbahnsignalanlagen, im Tower von Flughäfen und in zahllosen anderen wichtigen Einrichtungen verwendet, damit bei Ausfall der Hauptenergiequelle eine Notstromversorgung zur Verfügung steht. Einsatzbereiche, in denen relativ langfristig Batterien zur Notstromversorgung verfügbar sein müssen, sind beispielsweise Notbeleuchtungseinrichtungen für Krankenhäuser und Industrieanlagen sowie nicht abschaltbare Energieversorgungseinrichtungen für wichtige Geräte zur Nachrichtenübermittlung und für Computer. Die einzelnen Zellen von Sekundärbatterien sind oft eigene Einheiten mit zugänglichen Klemmen. Solche Zellen sind oft recht groß und wiegen in einigen Fällen mehrere hundert Kilogramm.

Die Hauptaufgabe einer Notstrom-Batterieanlage ist die Bereithaltung einer bestimmten Energiemenge, die über mehrere Stunden abgegeben werden kann. In vielen Anwendungsbereichen ist es sehr erwünscht, eine Möglichkeit zu haben, die einzelnen Zellen oder die Batterien der Anlage in Abständen darauf zu überprüfen, ob sie ihren Energiebeitrag tatsächlich leisten können, wenn es erforderlich wird. Jede Zelle oder Batterie, bei der die Überprüfung eine nicht ausreichende Energiekapazität ergibt, kann dann ausgetauscht werden, damit sichergestellt ist, daß die Gesamtanlage ihre Aufgabe als Notstromversorgung erfüllen kann.

30.07.99

Bisher ist das einzige verfügbare Mittel zum exakten Bestimmen der Energiekapazität einer Batterie oder einer einzelnen Batteriezelle der Langzeitentladungstest. Dieses bekannte Testverfahren ist vollständig in Abschnitt 6 der ANSI/IEEE-Norm 450-1987 beschrieben. Bei diesem Verfahren wird die Batterie bei gleichbleibendem Stromfluß entladen, der normalerweise der Ampèrestunden-Nennleistung der Batterie geteilt durch ihre Nennleistungsdauer (typischerweise acht oder zehn Stunden) entspricht. Während der Entladung wird die Klemmenspannung der Batterie sowie jeder einzelnen Zelle überwacht und die bis zum Erreichen eines bestimmten "Spannungsendwerts" (normalerweise 1,75 V pro Zelle) benötigte Zeit festgehalten. Die "prozentuale Kapazität" einer Batterie oder einer einzelnen Zelle kann dann nach folgender Formel errechnet werden:

$$\text{prozentuale Kapazität} = \frac{(\text{Zeit in Minuten bis "Spannungsendwert"})}{(\text{Nennentladungsdauer in Minuten})} \times 100\%$$

(1)

Jede Zelle oder Batterie, bei der sich mit diesem Verfahren eine "prozentuale Kapazität" von 80 % oder weniger ergibt, wird normalerweise entfernt und durch eine neue Zelle oder Batterie ersetzt.

Obwohl der vorstehend beschriebene, bekannte Langzeitentladungstest zur Ermittlung der gespeicherten Energiekapazität vielfach verwendet wird, hat er mehrere schwerwiegende Nachteile wie zum Beispiel:

1. Die Durchführung des Tests dauert ziemlich lang (normalerweise 8 bis 10 Stunden).
2. Die entnommenen Ströme können relativ stark sein, so daß schweres und sperriges Gerät erforderlich sein kann.
3. Nach dem Test muß die Batterie vor dem erneuten Gebrauch wieder geladen werden, wofür zusätzliche Zeit erforderlich ist.
4. Bei einer gegebenen Batterie ist nur eine bestimmte Anzahl von Lade-/Entladezyklen möglich. Folglich verringert jeder an einer Batterie durchgeföhrte Langzeitentladungstest die mögliche Einsatzdauer der Batterie.

Die Möglichkeit der Entwicklung einer Alternative zum Langzeitentladungstest von Zellen und Batterien ist in der Arbeit von DeBardelaben (S. DeBardelaben, Intelec 86, Toronto, Kanada, S. 365-368) vorgeschlagen worden. Mittels Laborprüfgeräten hat DeBardelaben die Gesamtimpedanz von Blei-Antimon-Telefonzellen mit der Nennleistung von 7000 Ampèrestunden geprüft. Seine Auswertung mit Hilfe des mathematischen Verfahrens der linearen Regression ergab eine deutliche inverse Korrelation zwischen der Zellenkapazität und der Höhe der Impedanz der Zelle oder ihres realen Widerstandsanteils. Nachfolgende Laboruntersuchungen durch Vaccaro und Casson (F. J. Vaccaro und P. Casson: "Internal Resistance: Harbinger of Capacity Loss in Starved Electrolyte Sealed Lead Acid Batteries", Intelec 87, Stockholm, Schweden, S. 128 - 131) ergab, daß erhöhte Werte von Impedanz und Widerstand auch ein guter Hinweis auf das "Austrocknen" stationärer abgedichteter Blei/Säure-Batterien sind.

Das für Burkum et al. erteilte US-Patent 4,697,134 beschreibt eine Vorrichtung zur Messung der Impedanz von stationären Batterien, während die Batterie in Betrieb ist. Burkum et al. schicken einen Wechselstrom durch die Batterie, dessen Frequenz/en so gewählt wird/werden, daß sie sich von den anderen Frequenzen im Ladekreis/Lastkreis unterscheidet/unterscheiden. Die sich dadurch an der Batterie bzw. an einer einzelnen Zelle aufbauende Wechselspannung wird dann abgenommen und gefiltert, um etwaige Anteile auszuschalten, die nichts mit dem eingeleiteten Wechselstrom zu tun haben. Die Impedanz der Zelle/Batterie wird dann in der üblichen Weise durch Bilden des Verhältnisses von Wechselspannung zu Wechselstrom ermittelt.

Als Aufgaben der Erfindung von Burkum et al. werden angegeben: (1) Erfassen von Veränderungen der Impedanz, die einen sich in einer oder mehreren Einzelzellen oder Verbindungselementen zwischen den Zellen entwickelnden Defekt anzeigen können, oder (2) Vergleichen der Impedanz einzelner Zellen, um schadhafte Teile ausfindig machen zu können. Ihre Erfindung ist eindeutig nicht auf die Bewertung der Energiekapazität einer Zelle oder Batterie gerichtet. Der Grund für ihre ziemlich begrenzte Betrachtung erhellt sich aus der vorstehend angeführten Beobachtung von DeBardelaben, daß das Verhältnis zwischen Impedanz und Energiekapazität eine inverse Korrelation ist. Da die Impedanz eine nichtlineare Funktion der Energiekapazität ist, ist es sehr schwierig, anhand der Messung der Impedanz die Energiekapazität festzustellen oder gar ihren Trend zu erkennen. Das US-Patent 4,697,134 bildet die Basis für den Oberbegriff von Anspruch 7 der vorliegenden Erfindung.

Die Überprüfung von Autobatterien zum Anlassen von Motoren stellt ein ganz anderes Problem dar. Anders als die Tiefentladebatterien, die über längere Zeit Energie abgeben sollen, haben die Autostarterbatterien die Hauptaufgabe, kurzzeitig einen Energiestoß zu liefern. Daher werden Autobatterien gewöhnlich durch einen Kurzzeitbelastungstest (z.B. 15 Sekunden) geprüft. Allerdings erfordert der Belastungstest ebenso wie der Langzeitentladungstest schweres, sperriges Gerät und weist auch noch andere große Nachteile auf. Dementsprechend lehren die US-Patente 3,873,911; 3,909,708 und 4,816,768 eine praktische Alternative zum üblichen Belastungstest für Autostarterbatterien. Die drei vorgenannten Patente offenbaren unabhängige elektronische Geräte, die den dynamischen Leitwert der Batterie (d.h. den realen Anteil des Gesamt-Scheinleitwerts), d.h. das Verhältnis von In-Phasewechselstrom zu Wechselspannung, mittels Wechselstrom-Kleinsignalen messen, um die Fähigkeit der Autobatterie zur Bereitstellung der Anlaßkapazität bequem und exakt zu bewerten. Die Patente lehren, daß der dynamische Leitwert einer Batterie direkt proportional ist zu ihrer dynamischen Leistung, d.h. der maximalen Leistung, die die Batterie abgeben kann. Messungen des dynamischen Leitwerts korrelieren stark mit der Nennkapazität einer Batterie, ausgedrückt in Kaltstartampères und liefern damit ein direktes Maß für die Hochstrom-Anlaßkapazität der Batterie. Millionen von Messungen, die im Lauf von fünfzehn Jahren bei Autostarterbatterien durchgeführt wurden, haben diese Lehren voll bestätigt und die Brauchbarkeit des Verfahrens der Leitwertmessung zum Testen von Fahrzeugstarterbatterien belegt.

Das US-Patent 3,873,911 bildet die Basis des Oberbegriffs von Anspruch 2. Diese Schrift lehrt ferner als erste Ausführungsform die Verwendung einer Ausgleichsbrückenschaltung, in der die dynamische Leistung einer Einzelbatterie geprüft wird, wobei die dynamische Leistung direkt proportional zum inversen dynamischen Widerstand der Batterie ist. Diese Einzelbatterie wird dann als Normbatterie zur ersten Eichung anderer Einheiten einer zweiten Ausführungsform verwendet, die ein Direkttableseinstrument hat, das auf der Änderung des Verstärkungsfaktors eines Hochleistungsverstärkers durch Steuerung von dessen negativer Rückmeldung basiert.

Leider kann das Verfahren der Messung des dynamischen Leitwerts zur Bewertung der Anlaßkapazität nicht unmittelbar für die Bewertung der Energiekapazität verwendet werden, wie es für Batterien im Tiefentladungseinsatz wünschenswert wäre. Wegen der vielen Nachteile des Langzeitentladungstests wäre es jedoch offensichtlich wünschenswert, einen einfachen Soforttest - wie die Überprüfung

des dynamischen Leitwerts - anzubieten, der zur Bewertung der gespeicherten Energiekapazität verwendet werden könnte, ohne daß dabei die Batterie entladen werden müßte. Jedoch wurde bisher noch keine einfache Beziehung zwischen dem dynamischen Leitwert einer Zelle und der in ihr gespeicherten Energiekapazität bzw. Nennkapazität gefunden. Es ist somit nicht a priori offensichtlich, daß eine Kleinsignalmessung des dynamischen Leitwerts einer Zelle leicht und aussagefähig in Beziehung zu der in ihr gespeicherten Energiekapazität gesetzt werden kann.

Außerdem beziehen die in den drei vorgenannten US-Patenten offenbarten Prüfgeräte für den dynamischen Leitwert sämtlich die Energie für ihre elektronischen Schaltkreise aus der zu prüfenden 6-Volt- oder 12-Volt-Autobatterie. Durch diese erfreuliche Eigenschaft können diese Prüfgeräte für den dynamischen Leitwert bequem überall eingesetzt werden, da sie völlig unabhängig vom Wechselstromnetz sind. Jedoch beträgt die Klemmenspannung einer einzelnen voll geladenen Blei/Säure-Zelle nur etwa 2,1 Volt, was für die Energieversorgung der in den genannten Patenten offenbarten, elektronischen Schaltungen nicht ausreicht. Außerdem müßten wegen des extrem großen Leitwerts vieler Sekundärbatteriezellen mehrere Ampère Wechselstrom durch die Zelle fließen, um eine Wechselspannung zu erzeugen, die für die Messung des dynamischen Leitwerts ausreicht. Wenn dieser Strom Zusatzbatterien entnommen werden sollte, müßten diese natürlich groß oder kurzlebig sein. Außerdem könnte jede Verbindung zu externen Stromquellen die erforderliche Isolation zwischen der "Rückkopplungsschleife" und der "Spannungsmeßschleife" des "Vierpunktsensors" der Meßschaltung beeinträchtigen. Jede Verbindung infolge solcher zusätzlicher Stromanschlüsse könnte die Fähigkeit der Meßschaltung, Fehler zu unterdrücken, die durch einen störenden Leiterwiderstand bedingt sind, deutlich herabsetzen.

Selbst wenn eine einfache Beziehung zwischen dem dynamischen Leitwert und der gespeicherten Energiekapazität hergestellt werden könnte, ist es somit keineswegs offensichtlich, wie das früher offenbarte Prüfgerät für den dynamischen Leitwert bei Einzelzellen angewendet werden könnte, ohne daß große Meßfehler in Kauf genommen werden müßten oder eine große Zusatzbatterie oder aber ein eigener Anschluß an das Wechselstromnetz erforderlich wäre.

#### Zusammenfassung der Erfindung

Ich habe zahlreiche Langzeitentladungs-Prüfergebnisse und Messungen des dynamischen Leitwerts, die an Tiefentladungsbatterien und Einzelzellen davon durch-

geführt wurden, eingehend analysiert. Ausgehend von dieser Analyse habe ich festgestellt, daß der dynamische Leitwert einer Zelle sich relativ schlecht mit der in ihr gespeicherten, in Amperestunden ausgedrückten Energiekapazität in Beziehung setzen läßt. Ich habe jedoch nachgewiesen, daß eine ganz lineare Beziehung zwischen der bei einem Langzeitentladungstest abgegebenen Gesamtenergie und dem vor Durchführung des Entladungstests gemessenen dynamischen Leitwert besteht, sofern alle geprüften Zellen gleich gebaut sind und die gleiche Nennkapazität haben und von ein und demselben Hersteller stammen. Indem zunächst ein "Referenzleitwert" festgelegt wird, der als der dynamische Leitwert einer Musterzelle oder -batterie mit 100 % Energiekapazität definiert wird, kann die prozentuale Kapazität aller gleich gebauten Zellen oder Batterien exakt und sofort festgestellt werden, indem deren dynamischer Leitwert gemessen und mit dem "Referenzleitwert" verglichen wird. Ein geeigneter "Referenzleitwert" kann einfach dadurch ermittelt werden, daß stellvertretend an einer einzelnen Zelle oder Batterie einer Gruppe eine Langzeitentladungsprüfung durchgeführt und der dynamische Leitwert gemessen wird.

Nachstehend wird ein versorgungsunabhängiges, elektronisches Gerät offenbart, welches sofort die gespeicherte Energiekapazität von einzelnen 2-Volt-Blei/Säure-Zellen oder aus diesen gebildeten Batterien ermittelt. Das Prüfgerät wird an die Klemmen einer Zelle oder Batterie angeschlossen und mißt deren dynamischen Leitwert mit einem zeitvariablen Kleinsignal. Eine interne Leitwertvorgabe erlaubt die anfängliche Eichung des Geräts zur Sicherstellung der Genauigkeit der Messungen an der Zelle/Batterie. Es sind Mittel zur Eingabe eines "Referenzleitwerts" vorgesehen, der als der dynamische Leitwert einer Zelle oder Batterie definiert ist, die gleich gebaut ist, die selbe Nennkapazität hat und eine Energiekapazität von 100 % aufweist. Das Gerät zeigt entweder den gemessenen Leitwert der geprüften Zelle/Batterie in Siemens (mhos) oder ihre "prozentuale Kapazität" an, die sich ergibt, wenn der gemessene Leitwert in geeigneter Weise zum "Referenzleitwert" in Beziehung gesetzt wird. Bei Ermittlung der "prozentualen Kapazität" leuchtet eine Leuchtdiode auf, wenn das Ergebnis unter einem voreingestellten Schwellwert liegt. Bei Messung einzelner Zellen ermöglichen besondere Konstruktionsmerkmale die Energieversorgung derjenigen Elemente der Meßschaltung, die mehr Strom benötigen, unmittelbar aus der zu prüfenden 2-Volt-Zelle, während die Elemente, die weniger Strom, aber eine höhere Spannung benötigen, von einer getrennten Niedrigenergie-Gleichstromquelle, beispielsweise einer kleinen 9-Volt-Transistorbatterie oder einem eingebauten, von der zu prüfenden Zelle versorgten Gleichspannungs-Wandler versorgt werden. Diese neuartige Schaltungseinrichtung ermöglicht

30.07.99  
7

die Herstellung eines tragbaren, netzunabhängigen elektronischen Geräts, welches die "prozentuale Kapazität" einer 2-Volt-Zelle oder einer aus solchen Zellen zusammengesetzten Batterie sofort exakt ermittelt, ohne daß ein Anschluß an eine externe Energieversorgung erforderlich wäre.

#### Kurzbeschreibung der Zeichnungen

- Fig. 1 ist eine graphische Darstellung des gemessenen dynamischen Leitwerts, aufgetragen über der Entladezeit bei Langzeitentladungstests an neun stationären Batteriezellen gleicher Bauweise und Kapazität, die bei ihrer 10-Stunden-Kapazität entladen wurden.
- Fig. 2 ist eine standardisierte graphische Darstellung, in der die Werte von Fig. 1 als Prozentwerte des Referenzleitwerts über der nach Gleichung (1) ermittelten prozentualen Kapazität aufgetragen sind.
- Fig. 3 ist ein vereinfachtes Schaltbild eines erfindungsgemäß elektronischen Prüfgeräts zur Bewertung der Kapazität einer Batterie/Zelle.
- Fig. 4 ist ein vereinfachtes Schaltbild eines Teils des Verstärker-/Stromversorgungsabschnitts des Schaltbilds von Fig. 3, in dem die Verbindungen zwischen Oszillator/Dämpfungsglied-Abschnitt, Hochleistungsverstärker und der zu prüfenden Batterie entsprechend der bekannten Lehre des US-Patents 4,816,768 dargestellt sind.
- Fig. 5 ist ein ähnliches vereinfachtes Schaltbild wie Fig. 4, in dem bei einer erfindungsgemäß gestalteten Ausführungsform die Verbindungen zwischen dem Oszillator/Dämpfungsglied-Abschnitt, dem Hochleistungsverstärker und der zu prüfenden Batterie dargestellt sind.
- Fig. 6 ist ein ähnliches vereinfachtes Schaltbild wie Fig. 5, in dem bei einer weiteren erfindungsgemäß gestalteten Ausführungsform die Verbindungen zwischen dem Oszillator/Dämpfungsglied-Abschnitt, dem Hochleistungsverstärker und der zu prüfenden Batterie dargestellt sind.
- Fig. 7 ist ein ähnliches vereinfachtes Schaltbild wie Fig. 6, in dem die Verwendung einer Leitwertvorgabe bzw. Leitwert-Eicheeinrichtung zur exakten Eichung eines erfindungsgemäß elektronischen Prüfgeräts

zur Bewertung der Kapazität einer Batterie/Zelle offenbart ist.

- Fig. 8 ist ein Schaltbild des Verstärker/Stromversorgungsabschnitts einer in der Praxis eingesetzten Ausführungsform des erfindungsgemäßen elektronischen Prüfgeräts zur Bewertung der Kapazität einer Batterie/Zelle.
- Fig. 9 ist ein Schaltbild des Oszillator/Dämpfungsglied-Abschnitts einer in der Praxis eingesetzten Ausführungsform des erfindungsgemäßen elektronischen Prüfgeräts zur Bewertung der Kapazität einer Batterie/Zelle.
- Fig. 10 ist ein Schaltbild des Detektor/Anzeige-Abschnitts einer in der Praxis eingesetzten Ausführungsform des erfindungsgemäßen elektronischen Prüfgeräts zur Bewertung der Kapazität einer Batterie/Zelle.

#### Ausführliche Beschreibung

Fig. 1 offenbart Versuchsergebnisse, bei denen der vor der Entladung gemessene dynamische Leitwert G gegenüber der Zeit t (Minuten), die erforderlich ist, um bei einer Langzeitentladung bei Zehn-Stunden-Kapazität 1,75 V zu erreichen, in Beziehung gesetzt ist. Diese Ergebnisse wurden bei einer Gruppe von neun stationären Batteriezellen gleicher Bauart und Kapazität ein und desselben Herstellers erzielt. Der Graph von Fig. 1 offenbart eine empirische Beziehung zwischen dem dynamischen Leitwert und der Entladungsdauer, die nahezu linear ist. Diese außerordentliche Linearität war ganz unerwartet, ist jedoch typisch für die bei vielen verschiedenen Zellen erzielten Ergebnisse, sofern die Zellen nach Kapazität, Bauart und Hersteller gruppiert waren.

Der Grund für die beobachtete lineare Beziehung zwischen den beiden scheinbar zusammenhanglosen Größen (dynamischer Leitwert und Zeit) lässt sich anhand eines ziemlich einfachen Modells erklären. Der dynamische Leitwert einer Zelle lässt sich näherungsweise nach der folgenden bekannten Formel für den Leitwert eines einheitlichen Widerstands bestimmen:

$$G = \sigma A / L \text{ Siemens} \quad (2)$$

wobei  $\sigma$  die effektive Leitfähigkeit des Strompfads, L die effektive Länge des Strompfads und A die wirksame Fläche der Platten ist.

30.07.99  
9

Aus Gleichung (2) ist zu ersehen, daß der Leitwert  $G$  der Zelle direkt proportional ist zu  $A$ , der wirksamen Fläche der Platten. Andererseits ist die Zeidauer, während der die Zelle einer Entladung bei einer bestimmten konstanten Stromstärke standhält, proportional zur Anzahl der chemischen Reaktionspunkte, die vor Entladungsbeginn vorhanden sind, und damit auch proportional zur wirksamen Plattenfläche. Folglich sind beide gemessene Größen - dynamischer Leitwert und Entladungsdauer - proportional zur wirksamen Plattenfläche vor Entladungsbeginn, d.h. sie stehen in einer linearen Beziehung zueinander. Die anderen Variablen der Gleichung (2) sowie die vielen Variablen, die in die komplexen Mechanismen eingehen, die den Langzeitentladungstest bewirken, sind von Konstruktionsdetails der Zelle wie Abmessungen, Plattenabstand, Separatorart und -porosität, Dichte der Säure usw. abhängig. Bei Zellen, die nach Nennkapazität und Bauart gruppiert sind, sind diese anderen Variablen jedoch von Zelle zu Zelle nahezu gleich und wirken sich daher kaum aus. Diese einfache Erklärung liefert die physikalische Basis für die empirisch ermittelte nahezu lineare Beziehung zwischen dem dynamischen Leitwert und der gespeicherten Energiekapazität, wie sie in Fig. 1 offenbart ist.

Gemäß Gleichung (1) entspricht eine Kapazität von 100 % einer Entladungsdauer (bis zu einem Spannungs-"Endwert" von 1,75 V), die der "Nennentladungsdauer" entspricht. Bei den in Fig. 1 angegebenen Werten für den Langzeitentladungstest beträgt diese "Nennentladungsdauer" 600 Minuten. Bei Festlegung eines "Referenzleitwerts"  $G_{Ref}$  als dynamischen Leitwerts einer Zelle gleicher Nennkapazität und gleicher Bauart mit einer Energiekapazität von 100 % kann die in Fig. 1 dargestellte lineare Beziehung zwischen  $G$  und  $t$  wie folgt ausgedrückt werden:

$$G/G_{Ref} = t/t_{\text{Nennwert}} \quad (3)$$

wobei  $t_{\text{Nennwert}} = 600$  Minuten.

Fig. 2 zeigt eine standardisierte Darstellung der Werte von Fig. 1. Die auf der horizontalen Achse von Fig. 2 aufgetragenen Werte sind Werte der "prozentualen Kapazität", die nach Gleichung (1) aus den Werten des Langzeitentladungstests abgeleitet sind. Die auf der vertikalen Achse aufgetragenen Werte sind standardisierte Werte für den dynamischen Leitwert, die man durch  $(G/G_{Ref}) \times 100\%$  erhält, wobei der Wert  $G_{Ref} = 8770$  S aus den Werten von Fig. 1 stammt. Wie zu erkennen ist, kann die Beziehung zwischen den beiden in Fig. 2 aufgetragenen prozentualen Größen näherungsweise exakt durch eine Gerade mit einheitlicher Steigung dargestellt werden, was bedeutet, daß die beiden Größen nahezu gleich sind. Mit

einem sehr hohen Grad an Genauigkeit kann daher geschrieben werden:

$$\text{prozentuale Kapazität} = (G/G_{\text{Ref}}) \times 100 \% \quad (4)$$

Damit liefert Gleichung (4) die Grundlage für eine praktische Alternative zum Langzeitentladungstest und zu Gleichung (1) für die Bewertung der Energiekapazität. Gleichung (4) zeigt, daß die in einer Zelle gespeicherte Energiekapazität alternativ sofort durch Messung ihres dynamischen Leitwerts  $G$  und Vergleichen des Meßwerts mit einem in geeigneter Weise festgelegten, dynamischen Referenzleitwert  $G_{\text{Ref}}$  ermittelt werden kann. Es muß lediglich  $G_{\text{Ref}}$  bekannt sein. Durch Umstellung von Gleichung (3) erhält man folgenden Ausdruck für  $G_{\text{Ref}}$ :

$$G_{\text{Ref}} = G \times (t_{\text{Nennwert}}/t) \quad (5)$$

Durch Anwendung von Gleichung (5) kann der für eine Gruppe von Zellen geltende dynamische Referenzleitwert unmittelbar durch Messung einer einzelnen Zelle der Gruppe bestimmt werden, indem bei dieser einzelnen Zelle stellvertretend ein Langzeitentladungstest (zur Ermittlung von  $t$ ) und eine Messung des dynamischen Leitwerts (zur Ermittlung von  $G$ ) durchgeführt wird. Damit ist es nicht erforderlich, daß eine "Referenzzelle", d.h. eine stellvertretend gemessene Zelle mit 100 % Energiekapazität, tatsächlich existiert.

Das im folgenden beschriebene Meßgerät erfüllt insbesondere die beiden folgenden wichtigen Funktionen:

1. Das Gerät liefert eine direkte Messung des dynamischen Leitwerts einer Zelle/Batterie und zeigt das Ergebnis in Siemens (mhos) an. Dieser bei einer stellvertretenden Zelle/Batterie erhaltene Wert wird zusammen mit den Ergebnissen eines bei derselben Zelle/Batterie durchgeföhrten Langzeitentladungstests verwendet, um nach Gleichung (5)  $G_{\text{Ref}}$  zu ermitteln.
2. Das Gerät ermöglicht die Eingabe des so ermittelten Werts von  $G_{\text{Ref}}$ . Die nachfolgenden Messungen des dynamischen Leitwerts werden dann in geeigneter Weise am  $G_{\text{Ref}}$  ausgerichtet, um die "prozentuale Kapazität" einer bestimmten Zelle/Batterie mittels Gleichung (4) festzustellen. Die so ermittelte "prozentuale Kapazität" wird vorteilhafterweise direkt angezeigt. Zusätzlich leuchtet eine Leuchtdiode auf, wenn das Ergebnis einen voreingestellten Schwellwert unterschreitet.

Fig. 3 zeigt ein vereinfachtes Schaltbild eines elektronischen Prüfgeräts zur Ermittlung der Energiekapazität einer Batterie/Zelle. Zur einfacheren Darstellung ist das Schaltbild von Fig. 3 in drei Abschnitte unterteilt: einen Verstärker/Stromversorgungsabschnitt 4, einen Oszillator/Dämpfungsglied-Abschnitt 6 und einen Detektor/Anzeige-Abschnitt 8.

Zunächst zum Verstärker/Stromversorgungs-Abschnitt 4: Die Signale am Ausgang 10 der Hochleistungsverstärkerkaskade 12 werden über zwei Rückleitungen, nämlich eine interne Rückleitung 14 und eine externe Rückleitung 16, zum Eingang 20 der Hochleistungsverstärkerkaskade 12 zurückgeführt. Die interne Rückleitung 14 weist einen Tiefpaßfilter 18 auf und führt ein Signal direkt zum Eingang 20 der Hochleistungsverstärkerkaskade 12 zurück. Sinn der internen Rückleitung 14 und des Tiefpaßfilters 18 ist es, bei der Meßfrequenz ein großes Gleichspannungsrückmeldesignal, jedoch ein sehr kleines Wechselspannungsrückmeldesignal zu erhalten, um den Arbeitspunkt der Hochleistungsverstärkerkaskade 12 zu stabilisieren, ohne die Wechselspannungsverstärkung nennenswert zu reduzieren. Die externe Rückleitung 16 enthält ein Widerstandsnetz 22 und führt einen Signalstrom zurück, der sowohl durch einen Leitwertstandard bzw. eine Leitwertvorgabe 24 als auch durch die zu prüfende Zelle/Batterie 26 fließt. Mit dem Betriebsartschalter 28 können zwei Betriebsarten gewählt werden: "Eichen" und "Messen". In der Betriebsart "Eichen" wird die an der Leitwertvorgabe 24 aufgebaute Signalspannung gemessen und an den Eingang 30 der Summierschaltung 32 angelegt. In der Betriebsart "Messen" wird die sich an der zu messenden Zelle/Batterie 26 aufbauende Signalspannung gemessen und an den Eingang 30 der Summierschaltung 32 angelegt. Die Summierschaltung 32 kombiniert die am Eingang 30 empfangene Signalspannung mit einer periodischen Rechteck-Signalspannung 34 aus dem Oszillator/Dämpfungsglied-Abschnitt 6. Die so am Ausgang 40 der Summierschaltung 32 entstandene zusammengesetzte Signalspannung wird über ein kapazitives Kopplungsnetz 42 auf den Eingang 20 der Hochleistungsverstärkerkaskade 12 geschaltet.

Dank der vom Hochleistungsverstärker 12 bewirkten sehr hohen Wechselspannungssignalverstärkung und der negativen Rückmeldung über die externe Rückleitung 16 ist die zusammengesetzte Signalwechselspannung am Eingang 20 des Hochleistungsverstärkers 12 mehr oder weniger gleich null. Damit haben die Signalwechselspannungen an den Eingängen 30 und 34 der Summierschaltung 32 nahezu den gleichen Wert und entgegengesetzte Phase. Wenn der Betriebsartschalter 28 auf Position "Eichen" steht, hat somit die Signalwechselspannung an

der Leitwertvorgabe 24 die gleiche Amplitude wie die mit 10-Hz-Frequenz an 34 anliegende Rechteck-Signalwechselspannung. Wenn der Betriebsartenschalter 28 auf Position "Messen" steht, hat die an der zu prüfenden Zelle/Batterie 26 entstehende Signalwechselspannung ebenfalls die gleiche Amplitude wie die mit 10-Hz-Frequenz an 34 anliegende Rechteck-Signalwechselspannung.

Die Signalwechselspannung am Ausgang 10 des Hochleistungsverstärkers 12 ist proportional zu dem über die externe Rückleitung 16 zurückgeleiteten Signalwechselstrom, der die Signalwechselspannung an 30 erzeugt, die gleich der Signalspannung an 34 ist und entgegengesetzte Phase hat. Damit ist die Signalwechselspannung an 10 proportional zur Oszillatorsignalwechselspannung an 34. Wenn der Betriebsartenschalter 28 auf Position "Eichen" steht, ist außerdem die Signalwechselspannung an 10 proportional zum dynamischen Scheinleitwert der Leitwertvorgabe 24, und wenn der Betriebsartenschalter 28 auf Position "Messen" steht, ist sie proportional zum dynamischen Scheinleitwert der Zelle/Batterie 26.

Die Gesamtspannung am Ausgang 10 des Hochleistungsverstärkers 12 enthält einen DC- bzw. Gleichstrom-Vorspannungsanteil und einen Wechselspannungssignalanteil. Die DC- bzw. Gleichstrom-Vorspannung bleibt unbeachtet, während die Signalwechselspannung von einem Synchrondetektor Det-1 44 im Detektor-/Anzeige-Abschnitt 8 erfaßt und exakt in eine Signalgleichspannung umgewandelt wird. Die Signalgleichspannung am Ausgang 48 des Det-1 48 wird an einem digitalen Voltmeter DVM-1 50 angezeigt. Der Detektor Det-1 44 wird phasensynchron mit einem Signal aus dem Oszillator/Dämpfungsglied-Abschnitt 6 ein- und ausgeschaltet, das über den Signalsynchronisierpfad 46 geleitet wird. Infolgedessen ist die Ausgangsgleichspannung des DET-1 bei 48 proportional zu dem Anteil der Signalwechselspannung an 10, die in Phase mit dem 10-Hz-Oszillatorsignal ist. Die am DVM-1 50 angezeigte Gleichspannung ist damit proportional zur Oszillatorsignalwechselspannung an 34. Wenn der Betriebsartenschalter 28 auf "Eichen" steht, ist außerdem die am DVM-1 50 angezeigte Spannung proportional zum dynamischen Leitwert der Leitwertvorgabe 24, und wenn der Betriebsartenschalter 28 auf "Messen" steht, ist sie proportional zum dynamischen Leitwert der Zelle-/Batterie 26.

Im Oszillator/Dämpfungsglied-Abschnitt 6 führt der Funktionswählschalter 52 das 10-Hz-Rechtecksignal vom Oszillator 36 über einen von zwei Signalpfaden zum Eichwerteinstell-Dämpfungsglied 38. Wenn der Funktionswählschalter 52 auf Position "Leitwert" steht, wird das Signal über das nicht einstellbare Dämpfungs-

glied 54 geführt. Der Wert des festen Dämpfungsglieds 54 wird so gewählt, daß das DVM-1 50 den dynamischen Leitwert direkt in Siemens anzeigt. Wenn der Funktionswählschalter 52 auf Position "Prozentuale Kapazität" steht, wird das Signal über das einstellbare Dämpfungsglied 56 geleitet. Das einstellbare Dämpfungsglied 56 wird zur Eingabe eines vorgegebenen Werts für den Referenzleitwert  $G_{Ref}$  verwendet. Unter diesen Voraussetzungen ist das an das digitale Voltmeter DVM-1 50 angelegte Signal proportional zum gemessenen dynamischen Leitwert, ist jedoch nach dem Wert von  $G_{Ref}$  skaliert, der durch die Einstellung des einstellbaren Dämpfungsglieds 56 wiedergegeben ist. Unter diesen Voraussetzungen lassen sich der gemessene dynamische Leitwert mit  $G_{Ref}$  vergleichen und die durch Gleichung (4) wiedergegebene "Prozentuale Kapazität" am DVM-1 50 anzeigen.

Die Referenzleitwerteinstellung am einstellbaren Dämpfungsglied 56 kann einfach durch eine Nummernskala angezeigt werden, die in herkömmlicher Weise um eine entsprechende Wälscheibe herum angegeben ist. Ein exakteres Mittel zum Anzeigen von  $G_{Ref}$  ist jedoch in Abschnitt 6 von Fig. 3 offenbart. Das Ausgangswechselspannungssignal des einstellbaren Dämpfungsglieds 56 wird bei 58 erfaßt. Die Amplitude dieses Wechselspannungssignals ist umgekehrt proportional zum Wert von  $G_{Ref}$ , der der Einstellung des einstellbaren Dämpfungsglieds 56 entspricht. Das Wechselspannungssignal an 58 wird an den Eingang des Synchrondetektors Det-2 60 angelegt, um bei 62 eine Signalgleichspannung zu erzeugen, deren Höhe umgekehrt proportional zu  $G_{Ref}$  ist. Die Gleichspannung an 62 wird dann von der analogen Divisionsschaltung 64 mathematisch umgekehrt, um bei 66 ein Gleichspannungssignal zu erzeugen, dessen Spannungspegel direkt proportional zu  $G_{Ref}$  ist. Diese umgekehrte Signalspannung wird an das digitale Voltmeter DVM-2 68 angelegt, so daß der jeweilige Wert von  $G_{Ref}$  unmittelbar am DVM-2 68 angezeigt werden kann.

Die Ersteichung der in Fig. 3 offenbarten Vorrichtung wird durchgeführt, indem der Betriebsartenschalter 28 auf Position "Eichen" und der Einstell-Funktionswählschalter 52 auf Position "Leitwert" gestellt werden. Das Eichdämpfungsglied 38 wird dann so eingestellt, daß der jeweilige Wert der Leitwertvorgabe 24 am DVM-1 50 in Siemens (mhos) angezeigt wird. Die Leitwertvorgabe 24 besteht aus einem Drahtsegment, dessen Länge exakt so bemessen ist, daß sich ein geeigneter Leitwert ergibt. Beispielsweise kann mit einem exakt 4,775 cm (1,88 Inch) langen Hartkupferdraht (AWG # 18, amerikanische Dicke Nr. 18) ein Leitwert von 1000 Siemens bei 20 °C erzielt werden. Nach der Ersteinstellung des Eichdämpfungsglieds 38 wird der Betriebsartenschalter 28 auf Position "Messen" gestellt. Wenn

der Funktionsschalter 52 auf Position "Leitwert" steht, wird dann der gemessene dynamische Leitwert (in Siemens) einer zu prüfenden Zelle/Batterie exakt am DVM-1 50 angezeigt. Wenn der Funktionsschalter 52 auf Position "Prozentuale Kapazität" steht, zeigt das DVM-1 50 die gemessene prozentuale Kapazität der zu prüfenden Zelle/Batterie, die nach Gleichung (4) bestimmt wird, unter Verwendung des am einstellbaren Dämpfungsglied 56 eingegebenen und am DVM-2 68 angezeigten Werts von  $G_{Ref}$  an. Außerdem wird von derselben Spannung bei 48, die das DVM-1 50 aktiviert, ein Spannungskomparator 70 aktiviert, der auf einen geeigneten Schwellwert voreingestellt werden kann. Dann leuchtet bei jedem Wert der "prozentualen Kapazität", der unter einem bestimmten "Gut/Schlecht"-Schwellwert liegt, z.B. 80 %, die Leuchtdiode 72 auf.

Fig. 4 zeigt ein vereinfachtes Schaltbild eines Teils des Verstärker/Stromversorgungs-Abschnitts 4 des Schaltbilds von Fig. 3, das nach der Lehre des US-Patents 4,816,768 dargestellt ist. Der Operationsverstärker A1 bildet zusammen mit seinen DC-bzw. Gleichstrom-Vorspannwiderständen R1, R2 und R3 sowie dem Transistor Q1, der als Emitterverstärker geschaltet ist, die Hochleistungsverstärkerkaskade 12 von Fig. 3. Zusätzlich bilden die Widerstände R4 und R5 zusammen mit dem Kondensator C3 den Tiefpaßfilter 18; der Widerstand R6 umfaßt das Widerstandsnetz 22, und die Kondensatoren C1 und C2 umfassen das kapazitive Kopplungsnetz 42. Die Batterie 26 wird in Fig. 4 durch Thevenin's äquivalente Schaltung dargestellt, bei dem eine Batterie-EMK  $V_B$  in Reihe mit einem internen Batteriewiderstand  $R_x$  geschaltet ist. Das vom Oszillatordämpfungsglied 6 bei 36 periodisch an die Summierschaltung 32 angelegte Rechtecksignal ist in Fig. 4 durch die Signalwechselspannung dargestellt, die sich am "Prüfwiderstand" R8 aufbaut, weil dieser über den "Injektionswiderstand" R7 mit dem Oszillatordämpfungsglied 6 verbunden ist. Die Summierschaltung 32 enthält die an R8 entstehende Oszillatork-Signalspannung und die an der Batterie 26 entstehende Signalwechselspannung, die in Reihe geschaltet sind und an den beiden Anschlüssen C und D an der Batterie 26 abgenommen werden. Die Verstärkerausgangsspannung bei 10 von Fig. 3 ist in Fig. 4 als  $V_{aus}$  von R6 dargestellt. Diese Spannung besteht aus einem DC- bzw. Gleichstrom-Vorspannungsanteil und einem Wechselspannungssignalanteil. Der DC- bzw. Gleichstrom-Vorspannungsanteil ist gleich der Gleichspannung am nichtinvertierenden (+)-Eingang des Operationsverstärkers A1. Der Wechselspannungssignalanteil ist sowohl zum Pegel des Oszillatorsignals an R8 als auch zum Kehrwert des Batteriewiderstands  $1/R_x$  proportional.

Wie im US-Patent 4,816,768 ausführlich erläutert, hat die Schaltung von Fig. 4

zwei getrennte Anschlußstellen für jede der beiden Batterieklemmen und ist damit ein Beispiel für eine "Vierpunkt-Meßfühler"-Architektur. Mit einer solchen Architektur läßt sich der Batterieleitwert exakt messen, obwohl der unerwünschte Widerstand der Leiter und der Batteriekontakte um mehrere Größenordnungen höher ist als der Innenwiderstand der Batterie. Damit die Schaltung ordnungsgemäß arbeiten kann, muß jedoch eine sehr gute Isolierung zwischen der "Rückkopplungsschleife" und der "Spannungsmeßschleife" gegeben sein. In Fig. 4 enthält die "Rückkopplungsschleife" den Stromkreis durch die Batterie über die Kontakte A und B, den npn-Leistungstransistor Q1 und den Rückkopplungswiderstand R6. Die "Spannungsmeßschleife" enthält die an den Kontakten C und D der Batterie erfaßte Signalspannung, den "Prüfwiderstand" R8, die beiden Kopplungskondensatoren C1 und C2 und den Differentialeingang des Operationsverstärkers A1.

In der Schaltung von Fig. 4 liefert die zu prüfende Batterie die erforderliche Energie für den Oszillator/das Dämpfungsglied 6, den Operationsverstärker A1 und den Transistor Q1 jeweils über die Kontakte A und B der "Rückkopplungsschleife". Durch getrennte Benutzung der "Spannungserfassungskontakte" C und D zusammen mit den Spannungsteilerwiderständen R1 und R2 zur Erzeugung der erforderlichen Vorspannung am nichtinvertierenden Eingang des Operationsverstärkers A1 wird die außerordentlich gute Isolation zwischen der "Spannungsmeßschleife" und der "Rückkopplungsschleife" erreicht. Die DC-Vorspannung am nichtinvertierenden Eingang ist gleich dem Produkt aus der Batteriespannung  $V_B$  und dem "Teilungsfaktor" der Spannungsteilerwiderstände R1 und R2. Durch die Wirkung der negativen Gleichspannungsrückkopplung über R4 und R5 ist diese Vorspannung auch gleich dem Vorspannungsanteil am Widerstand R6 der "Rückkopplungsschleife". Zu beachten ist, daß bei dieser Schaltung die DC- bzw. Gleichstrom-Vorspannung am Widerstand R6 und damit der Vormagnetisierungsgleichstrom des Transistors Q1 von der Spannung  $V_B$  der zu prüfenden Batterie abhängt.

Bei der Schaltung von Fig. 4 ergibt sich die einzige Kopplung zwischen den beiden Schleifen durch die Tatsache, daß der Oszillator/Dämpfungsglied-Abschnitt 6, der über die Kontakte der "Rückkopplungsschleife" mit Strom versorgt wird, über den "Injektionswiderstand" R7 mit der "Spannungsmeßschleife" verbunden ist. Wie im US-Patent 4,816,768 nachgewiesen ist, kann jedoch die Kopplung aufgrund dieses Mechanismus vernachlässigbar klein gemacht werden, indem R7 ausreichend groß gemacht wird.

Die in Fig. 4 dargestellte Schaltung wird komplett von der zu prüfenden Batterie

versorgt, so daß kein Anschluß an das Wechselstromnetz oder eine andere Stromquelle erforderlich ist. Dieses Merkmal ist höchst erwünscht, insbesondere beim Prüfen von Batterien im freien Feld. Leider können jedoch mit der Schaltung von Fig. 4 keine einzelnen Zellen geprüft werden, weil eine voll geladene Blei/Säure-Zelle nur etwa 2.1 V bereitstellt, was für die Versorgung der im Batterieprüfgerät verwendeten Operationsverstärker und sonstigen elektronischen Bauelementen nicht ausreicht. Das Grundproblem ist es, eine Meßschaltung zu entwickeln, die einzelne Zellen exakt messen kann, trotzdem tragbar ist und bei der die Kopplung zwischen den Schleifen nicht verstärkt ist und dadurch die Meßgenauigkeit beeinträchtigt.

Fig. 5 offenbart eine erfindungsgemäße praktische Lösung dieser Aufgabe. Auch bei der Schaltung von Fig. 5 versorgt die zu prüfende Zelle/Batterie die Schaltungselemente, die viel Strom verbrauchen, den npn-Leistungstransistor Q1 und den ihm zugeordneten Rückkopplungswiderstand R6. Die übrigen aktiven Schaltungselemente jedoch - Oszillator/Dämpfungsglied 6 und Operationsverstärker A1 - werden von einer getrennten Zusatzspannungsversorgung  $V_s$  versorgt. Die beiden Spannungsversorgungen kommen nur an einem Punkt miteinander in Kontakt, nämlich am Batteriekontakt B, wodurch eine gemeinsame Erdung hergestellt wird. Die Eingangsvorspannung am nichtinvertierenden Eingang des Operationsverstärkers A1 wird über Schaltungen hergestellt, die an die Spannungsversorgung  $V_s$  angeschlossen sind. Eine störende Kopplung zwischen der "Spannungsmeßschleife" und der Zusatzspannungsversorgung  $V_s$  wird jedoch vermieden, indem die Isolation genutzt wird, die eine Stromquelle CS1 darstellt, deren dynamischer Widerstand im wesentlichen unendlich groß ist. Eine solche Hochimpedanz-Stromquelle kann mit einem herkömmlichen integrierten Schaltkreis (IC), beispielsweise dem LM334 der National Semiconductor Corporation, geschaffen werden. Bei diesem IC fließt durch den Widerstand R2 ein Gleichstrom von 67 mV geteilt durch den Widerstand von R9. Durch Multiplizieren dieses Gleichstroms mit dem Widerstand von R2 ergibt sich die DC- bzw. Gleichstrom-Vorspannung am nichtinvertierenden Eingang von A1 und damit der DC- bzw. Gleichstrom-Vorspannungsanteil am Rückkopplungswiderstand R6. Zu beachten ist, daß bei dieser Anordnung die Vorspannung am Widerstand R6 und damit der Vormagnetisierungsgleichstrom des Transistors Q1 von der Spannung  $V_B$  der Zelle/ Batterie unabhängig ist.

Ein Vorteil der Schaltung von Fig. 5 ergibt sich aus der Tatsache, daß der viel Strom verbrauchende Teil der Schaltung, nämlich die "Rückkopplungsschleife", noch von der zu prüfenden Zelle/Batterie versorgt wird. Wie im US-Patent 4,816,768 erörtert, arbeitet der Transistor Q1 als Linearverstärker der Klasse A.

Sein Strom ist damit ein konstanter Vormagnetisierungsgleichstrom mit zeitvariablen Stromamplituden nach oben und nach unten relativ zu diesem Gleichstromwert. Weil der Leitwert bei großen Zellen im Bereich von Tausenden von Siemens liegen kann, können Stromamplituden im Ampèrebereich erforderlich sein, um an der Zelle die für exakte Messungen erforderliche Wechselspannung aufzubauen. Daher sind Vormagnetisierungsgleichströme durch Q1 im Ampèrebereich erforderlich. Bei der in Fig. 5 dargestellten Schaltung werden diese starken Ströme von der zu prüfenden Zelle/Batterie geliefert. Die Elemente der Schaltung dagegen, die Spannungen von mehr als zwei Volt benötigen, werden von Strömen durchflossen, die im Milliampèrebereich liegen und können daher bequem über eine kleine Trockenbatterie, beispielsweise eine 9V-Transistorbatterie, versorgt werden. Damit muß bei der in Fig. 5 gezeigten Schaltung nicht auf Tragbarkeit zugunsten der Fähigkeit, einzelne Zellen zu prüfen, verzichtet werden.

In Fig. 6 sind mehrere Verbesserungen der Schaltung von Fig. 5 offenbart. Zuerst wurde die Stromversorgung der Batterie  $V_s$  durch einen Gleichspannungswandler ersetzt, der von der zu prüfenden Zelle/Batterie über die Kontakte A und B der "Rückkopplungsschleife" versorgt wird. Durch diese Verbesserung wird die Schaltung komplett mit Eigenstrom versorgt, und es entfällt die Notwendigkeit, Zusatzbatterien aufzuladen oder auszutauschen. Der Gleichstromwandler kann beispielsweise ein Wandler sein, wie er von der TRIMAG, Inc., 8210 W. Doe Avenue, Visalia, CA 93291, hergestellt und verkauft wird. Derartige Wandler sind für Eingangsspannungen von 2 bis 6 V geeignet und stellen eine konstante Ausgangsspannung von 15 V bei Stromstärken bis zu 50 mA bereit.

Zweitens wurde eine Bezugsspannungsquelle VR1 zusammen mit den Spannungsteilerwiderständen R1 und R2 verwendet, um den DC- bzw. Gleichstrom-Vorspannungspegel am nichtinvertierenden Eingang von A1 zu erzeugen. Die so erzeugte Vorspannung ist etwas exakter als die mit der Schaltung nach Fig. 5 erreichbare. Die Bezugsspannungsquelle VR1 kann einfach eine Zenerdiode sein. Sie kann auch ein Integrierter Schaltkreis wie der 2,5-V-LM336-2,5 von der National Semiconductor Corporation sein.

Schließlich wurde in der Schaltung von Fig. 6 der bipolare npn-Leistungstransistor Q1 durch einen n-Kanal-Leistungs-MOSFET M1 ersetzt. Zweck dieser Verbesserung ist es, die verfügbare Ausgangssignalspannung, die den Signalstrom durch die Batterie treibt, zu erhöhen. Da bei Prüfung einer einzelnen Zelle nur 2 Volt zur Versorgung der Ausgangsschaltung Klasse A verfügbar sind, ist es wichtig, den

Ausgangsschaltkreis genau in der Mitte zwischen seinen Endpunkten vorzuspannen und ihn dann symmetrisch um diesen Vormagnetisierungspunkt zu schwenken. Bipolare Transistoren haben den Nachteil der Sättigung bei hohen Stromstärken. Dadurch kann die Spannung am Transistor nicht auf null kommen, was den Schwenk um das volle  $\pm 1$  V verhindert, das eine zu prüfende 2-V-Zelle bereitstellt. Leistungs-MOSFETs haben nicht die gleiche Sättigungsneigung, so daß sich mit kleinen Speisespannungen größere Signalamplituden erzielen lassen.

In Fig. 7 wird eine Technik zum exakten Eichen des erfindungsgemäßen elektronischen Prüfgeräts offenbart. Diese Technik ist ein Mittel zum direkten Messen der Zelle/Batterie ohne Zuhilfenahme von Laborbrückenschaltungen oder sonstigen externen Meßeinrichtungen. Die in Fig. 7 gezeigte Schaltung ist abgesehen davon, daß die Spannungsmeßkontakte an den Punkten C und D von der Batterie entfernt worden sind und statt dessen an den Punkten E und F mit der Leitwertvorgabe  $G_s$  Kontakt haben, identisch mit der Schaltung von Fig. 6. Der Dauergleichstrombetrieb der Schaltung bleibt unbeeinflußt, weil der Kontakt bei F immer noch geerdet ist; bei dieser Ausführungsform mißt der Spannungsmeßkontakt bei E nur die zeitvariablen Signale und liefert daher weder Vorspannung noch Stromfluß.

Die Leitwertvorgabe  $G_s$  ist in Reihe mit dem "Rückkopplungsschleifen"-Draht, der bei B Kontakt mit der Batterie hat, geschaltet. Damit fließt derselbe zeitvariable Strom, der durch die Zelle/Batterie fließt, auch durch die Leitwertvorgabe  $G_s$ . Die Leitwertvorgabe  $G_s$  ist einfach ein Drahtstück mit zwei "Spannungserfassungskontakten", die an Punkten angelötet sind, die so voneinander beabstandet sind, daß ein geeigneter Leitwert erzielt wird. Beispielsweise kann eine Leitwertvorgabe von exakt 1000 Siemens bei 20 °C erreicht werden, indem an Punkten, die exakt 4,775 cm (1,88 Inch) auseinanderliegen, die Kontakte E und F an einen Hartkupferdraht der Amerikanischen Dicke 18 (AWG # 18) angelötet werden. Statt eines Kupferdrahts kann auch ein Draht aus einem anderen Metall wie Manganin, Konstantan oder Neusilber verwendet werden, wenn ein kleinerer Temperaturkoeffizient als der Temperaturkoeffizient von Kupfer gewünscht wird.

Weil die Leitwertvorgabe einfach ein kurzes Drahtstück ist, kann sie in Reihe mit dem Draht zum Batteriekontakt B geschaltet bleiben, selbst wenn sie nicht zum Eichen des Geräts verwendet wird. Zu beachten ist, daß die Leitwertvorgabe, wenn sie körperlich auf der Schaltplatine des Prüfgeräts untergebracht ist, durch viele Zentimeter Draht vom Kontakt B der Zelle/Batterie getrennt sein muß. Dieser Draht hat einen ohmschen Widerstand, der ein Vielfaches größer ist als der Wider-

stand der Leitwertvorgabe. Wegen der "Vierpunktmeßfühler"-Architektur und der bei der offenbarten Schaltung gegebenen Isolation zwischen den Schleifen jedoch erfaßt die Meßschaltung nur die Signalspannung zwischen den beiden Spannungsmeßkontakten E und F und übergeht die viel größere Signalspannung am langen Stück des Leitungsdrahts zwischen E und B. Zu beachten ist ferner, daß es wichtig ist, wie die Kontakte E und F plaziert werden. Wenn die beiden Spannungsmeßkontakte umgekehrt so plaziert würden, daß der Kontakt F der Batterie am nächsten wäre, ergäbe sich eine positive Rückmeldung, und die Schaltung würde schwingen.

Die drei Abbildungen Fig. 8, Fig. 9 und Fig. 10 offenbaren zusammen das komplette Schaltbild einer Praxisausführung des erfindungsgemäßen elektronischen Prüfgeräts zur Erfassung der Kapazität einer Batterie/Zelle. Die weiter unten angegebenen Werte für die Bauelemente gelten für ein Prüfgerät, das Zellen und Batterien mit einem Leitwert von bis zu 19,99 Kilosiemens messen kann. Fig. 8 zeigt den kompletten Verstärker/Stromversorgungs-Abschnitt 4 des Prüfgeräts, Fig. 9 zeigt den kompletten Oszillator/Dämpfungsglied-Abschnitt 6, und Fig. 10 zeigt den kompletten Detektor/Anzeige-Abschnitt 8.

Der in Fig. 8 gezeigte Verstärker/Stromversorgungs-Abschnitt vereinigt die beiden Funktionen, die von den zwei in Fig. 6 und 7 gezeigten Schaltungen ausgeführt werden. Über die Kontakte A und B wird ein Gleichspannungswandler von der zu prüfenden Zelle/Batterie mit Energie versorgt. Der Wandler stellt eine Ausgangsspannung von 15 V bereit und liefert die gesamte Energie, die für das elektronische Prüfgerät erforderlich ist, bis auf die Energie, die die Bauelemente der "Rückkopplungsschleife" benötigen. Die "Rückkopplungsschleife", bestehend aus dem Leistungs-MOSFET M1, dem Rückkopplungswiderstand R6 und der Leitwertvorgabe  $G_s$ , wird durch direkten Anschluß an die Zelle/Batterie an den Kontakten A und B separat mit Energie versorgt. Eine DC- bzw. Gleichstrom-Vorspannung von 1 V, die durch die Spannungsteilerwiderstände R1 und R2 und die Bezugsspannungsquelle IC10 erzeugt wird, wird über den Widerstand R3 an den nichtinvertierenden Eingang des Operationsverstärkers IC1A angelegt. Dieser Vorspannungskreis wird über den Gleichspannungswandler von der Stromquelle IC8 versorgt, die den Vorspannungskreis wirksam vom Gleichspannungswandler isoliert. Der Widerstand R9 bestimmt die von der Stromquelle IC8 abgegebene Gleichstromstärke.

Ein Tiefpaßfilter, der sich aus den Widerständen R4 und R5 sowie dem Ableit kondensator C3 zusammensetzt, bildet einen internen Rückkopplungspfad vom Ver-

stärkerausgang am Verbindungspunkt von Source des MOSFET M1 und Rückkopplungswiderstand R6 zum invertierenden Eingang des IC1A. Damit wird die Ausgangsgleichspannung des Verstärkers, gemessen am R6, bei 1 V stabilisiert. Da der Widerstandswert des Widerstands R6  $0,5 \Omega$  beträgt, fließt durch die Leitwertvorgabe  $G_s$  und die Zelle/Batterie über die Kontakte A und B ein Vormagnetisierungsgleichstrom von 2 A.

IC4 und IC5 sind ein Paar integrierte Schaltkreise als zweiseitige Vierer-Analogschalter. Zusammen umfassen sie acht elektrisch gesteuerte Schalter, die zwischen den Schaltkreisen zu ihrer Linken und den Schaltkreisen zu ihrer Rechten angeordnet sind. Die Steuereingänge dieser Schalter werden auf den Betriebsartschalter SW1 und die Pull-up-Widerstände R10 und R11 geschaltet. Wenn der Betriebsartenschalter SW1 auf Position "Messen" steht, sind die Steuereingänge der Schalter IC4B, IC5B, IC5C und IC5D geerdet. Dadurch sind sie in nichtleitendem Zustand, d.h. der Schaltkreis ist offen. Die Steuereingänge der vier anderen Schalter IC4A, IC4C, IC4D und IC5A dagegen werden vom Widerstand R11 auf 15 V hochgezogen und sind daher leitend, d.h. der Schaltkreis ist geschlossen. Wenn der Betriebsartenschalter SW1 auf Position "Eichen" steht, sind die Zustände der beiden Schaltergruppen vertauscht.

Ein Rechteckstrom von 10 Hz, der von den Schaltkreisen im Oszillator/Dämpfungs-glied-Abschnitt 6 erzeugt wird, wird durch den "Injektionswiderstand" R7 zu den Analogschaltern IC4D und IC5C geführt. Dieser Strom erzeugt eine kleine 10-Hz-Spannung entweder am "Prüfwiderstand" R8A oder am "Prüfwiderstand" R8B, je nachdem, ob SW1 auf Position "Messen" oder auf Position "Eichen" steht.

Wenn SW1 auf Position "Messen" steht, wird eine "Spannungsmeßschleife" gebildet, die das an den Kontakten C und D erfaßte Signal an der Zelle/Batterie, das Signal am "Prüfwiderstand" R8A, die Koppelkondensatoren C1 und C2 und den Differentialeingang des Verstärkers IC1A enthält. Wenn SW1 auf Position "Eichen" steht, wird eine zweite "Spannungsmeßschleife" gebildet, die das an den Kontakten E und F erfaßte Signal an der Leitwertvorgabe, das Signal am "Prüfwiderstand" R8B, die Koppelkondensatoren C1 und C2 und den Differentialeingang des Verstärkers IC1A umfaßt.

Durch den hohen Spannungsverstärkungsfaktor des Operationsverstärkers IC1A und das vom Rückkopplungswiderstand R6 abgegebene große negative Rückkopplungssignal ist die gesamte Signalspannung am Differentialeingang des IC1A

im wesentlichen gleich null, so daß die beiden Signalspannungen in der "Spannungsmeßschleife" einander aufheben müssen. Wenn also der Betriebsartenschalter SW1 auf Position "Messen" steht, ist die an der Zelle/Batterie entstehende 10-Hz-Signalspannung im wesentlichen gleich groß wie die Signalspannung am "Prüfwiderstand" R8A bei entgegengesetztem Vorzeichen. Entsprechend ist bei Stellung des Betriebsartenschalters SW1 auf Position "Eichen" die an der Leitwertvorgabe  $G_s$  entstehende Signalspannung im wesentlichen gleich groß wie die Signalspannung am "Prüfwiderstand" R8B bei entgegengesetztem Vorzeichen.

Die Signalspannung am Rückkopplungswiderstand R6 ist proportional zu dem Rückkopplungssignalstrom durch die Zelle/Batterie und die Leitwertvorgabe, was zu der erwünschten Spannungsaufhebung führt. Wenn also der Betriebsartenschalter SW1 auf Position "Messen" steht, ist der Wechselspannungssignalanteil der Spannung  $V_{aus}$  an R6 proportional zur Signalspannung an R8A und zur dynamischen Admittanz der Leitwertvorgabe  $G_s$ .

Fig. 9 offenbart die Schaltung, die den Signalstrom erzeugt, der vom "Injektionswiderstand" R7 in den Schaltkreis von Fig. 8 injiziert wird. Aus der +15-V-Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers werden von der Stromquelle IC9 zusammen mit den Bezugsspannungsquellen IC11, IC12 und IC14 Bezugsspannungen von +5 V, +7,5 V und +10 V abgeleitet. Der Widerstand R12 bestimmt die Gleichstromstärke des IC9.

Der Operationsverstärker IC1B bildet zusammen mit den Widerständen R13, R14, R15, R16 und dem Kondensator C4 eine herkömmliche Kippschaltung. Der Ausgang des IC1B schwingt zwischen einer niedrigen Spannung von annähernd null und einer hohen Spannung von annähernd +15 V bei einer Frequenz von etwa 10 Hz. Der zeitvariable Ausgang von IC1B wird an den Eingang des IC1D angelegt, der als Phaseninverter gestaltet ist. Der phasenvertauschte Ausgang des IC1D wird als Synchronisationssignal verwendet und an die Steuereingänge der Analogschalter IC6B und IC6C (im Detektor/Anzeige-Abschnitt 8) angelegt.

Das zeitvariable Ausgangssignal des IC1B wird ebenfalls an den Steuereingang des Analogschalters IC6A angelegt, dessen Signaleingangsanschluß mit der +5V-Bezugsspannung verbunden ist. Der Widerstand R17 stellt sicher, daß der Signalausgang des IC6A vollständig auf 0 Volt gebracht wird, wenn sein Steuereingang gering bzw. klein ist. Damit ist der Signalausgang des IC6A eine 5-Volt-Rechteckwelle mit einem exakten Pegel und einer Frequenz von 10 Hz.

Der Signalausgang des IC6A ist mit dem nichtinvertierenden Eingang des IC1C verbunden, der als Spannungsfolger mit Verstärkungsfaktor 1 gestaltet ist. Aufgabe des IC1C ist es, den Impedanzpegel zu senken, damit sichergestellt ist, daß das an die nächste Stufe angelegte Signal durch Ladungsänderungen unbeeinträchtigt bleibt. Der Ausgang des IC1C liegt an den parallelen Eingängen von zwei invertierenden Verstärkern an. Einer der invertierenden Verstärker umfaßt den IC2B zusammen mit den nicht variablen Widerständen R18 und R19 und hat einen nicht variablen Spannungsverstärkungsfaktor von (-R19/R18). Der andere invertierende Verstärker umfaßt den IC2A zusammen mit dem variablen Widerstand R20 und dem nicht variablen Widerstand R21. Dieser Verstärker hat einen variablen Spannungsverstärkungsfaktor von (-R21/R20). Die nicht invertierenden Eingänge des IC2A und des IC2B werden auf +5 V bezogen. Die Ausgänge der beiden invertierenden Verstärker bestehen daher aus positiv gerichteten, phasenvertauschten 10-Hz-Rechteckwellen, deren Amplituden über dem +5-V-Referenzpegel durch den Spannungsverstärkungsfaktor des entsprechenden Verstärkers bestimmt werden.

Der Funktionswahlschalter SW2A wählt den einen oder den anderen Ausgang der beiden invertierenden Verstärker und verbindet ihn mit dem Trimmstellschraubenspotentiometer R22. Das Trimmstellschraubenspotentiometer R22 dient als Oszillatorsignalpegeleinsteller beim Eichen des Prüfgeräts. Der Ausgang des Trimmstellschraubenspotentiometers R22 liegt am "Injektionswiderstand" R7 an, der im Verstärker/Stromversorgungs-Abschnitt 4 (siehe Fig. 8) enthalten ist.

Wenn der Funktionswahlschalter SW2A auf Position "Leitwert" steht, ist der Ausgang des invertierenden Verstärkers mit konstantem Verstärkungsfaktor gewählt. Damit ist das unveränderliche Spannungsverstärkungsverhältnis -R19/R18 gewählt, um den Leitwert der Zelle/Batterie direkt in Kilosiemens anzuzeigen. Wenn der SW2A auf Position "Prozentuale Kapazität" steht, ist der Verstärker mit verstellbarem Verstärkungsfaktor gewählt. Damit ist das veränderliche Verhältnis -R21/R20 gewählt, um den gemessenen Leitwert in geeigneter Weise zu skalieren, so daß die angezeigte Größe der Prozentsatz eines Referenzleitwerts ist, der zuvor mit dem verstellbaren Widerstand R20 eingegeben worden ist.

Der Widerstandswert des R20 ist direkt proportional zu dem Wert von  $G_{Ref}$ , der der Einstellung entspricht. Damit kann die Beziehung zwischen  $G_{Ref}$  und R20 bequem über eine linear kalibrierte Skala hergestellt werden, die mit einem Knopf oder einem anderen Mittel zum Einstellen des R20 versehen ist. Im folgenden wird jedoch ein alternatives Präzisionsmittel zum Herstellen und Anzeigen dieser Bezie-

hung offenbart.

Die Amplitude des Rechteckwellenausgangs des Verstärkers IC2A mit verstellbarem Verstärkungsfaktor ist umgekehrt proportional zum Widerstandswert des R20. Dieses Rechteckwellensignal wird über den IC2C, der als Spannungsfolger mit Verstärkungsfaktor 1 konfiguriert ist, zum Signaleingang des Analogschalters IC6B geleitet. Durch die vom IC2A bewirkte Phasenvertauschung bei diesem Signal und die durch den IC1D bewirkte Phasenvertauschung beim Synchronisationssignal ist der Analogschalter IC6B immer dann in leitendem Zustand, wenn das Rechteckwellensignal einen hohen Pegel hat, und in nichtleitendem Zustand, wenn das Rechteckwellensignal einen niedrigen Pegel hat. Der Kondensator C5, der zwischen den Signalausgang des IC6B und die +5-V-Bezugsspannung geschaltet ist, lädt sich daher bis zu einer Gleichspannung auf, die exakt gleich der Amplitude des Rechteckwellensignals ist.

Die am C5 aufgebaute Gleichspannung wird über den Widerstand R23 an den Eingang des Multifunktions-Signalfrequenzwandlers IC7 angelegt. Der Integrierte Schaltkreis IC7 ist ein von der National Semiconductor Corporation hergestellter IC des Typs LH0094CD. Dieser IC, der mit Analogsignalen verschiedene mathematische Operationen ausführt, wird durch die Widerstände R24 und R25 speziell konfiguriert, um die Gleichspannung am C5 zu invertieren und eine Ausgangsspannung zu erzeugen, die direkt proportional zu ihrem Kehrwert ist. Damit ist die Ausgangsspannung des IC7 direkt proportional zum Widerstandswert des R20 und zum entsprechenden Wert von  $G_{Ref}$ .

Die Ausgangsspannung des IC7 wird durch die Spannungsteilerwiderstände R26 und R27 herabgesetzt. Diese herabgesetzte Ausgangsspannung wird an die Eingänge des digitalen Voltmeters DVM-2 angelegt. Das DVM-2 ist ein handelsübliches digitales Schalttafel-Meßinstrument des Herstellers Modutec Incorporated, Norwalk, Connecticut. Das spezielle hier verwendete Schalttafel-Meßinstrument nimmt Eingangsspannungen von bis zu 200 mV an, hat eine 3-1/2-stellige LCD-Anzeige und trägt die Baureihennummer BL 100301. Die Spannungsteilerwiderstände R26 und R27 sind so gewählt, daß das digitale Voltmeter DVM-2 den jeweiligen Wert von  $G_{Ref}$  direkt in Siemens anzeigt.

Fig. 10 zeigt den Detektor/Anzeige-Abschnitt 8 des elektronischen Prüfgeräts. Die Spannung  $V_{aus}$  am Widerstand R6 von Fig. 8 wird an die Schaltung von Fig. 10 angelegt. Wie unter Bezugnahme auf Fig. 8 ausgeführt wurde, umfaßt  $V_{aus}$  einen

DC-bzw. Gleichstrom-Vorspannungsanteil von etwa 1 V und einen Rechteckwellen-signalanteil, dessen Amplitude proportional zur dynamischen Admittanz entweder der zu prüfenden Zelle/Batterie oder der Leitwertvorgabe ist.

Die Integrierten Schaltkreise IC6C und IC3A bilden zusammen mit den Widerständen R28, R29, R30 und dem Kondensator C7 einen Synchrodetektor. Diese Schaltung ist im US-Patent 4,816,768 vollständig erläutert. Es wird dort ausgeführt, daß C6 sich bis zum DC- bzw. Gleichstrom-Vorspannungsanteil von  $V_{aus}$  auflädt und daß die Gleichspannung, die sich zwischen dem Ausgang des IC3 und dem nicht invertierenden Eingang des IC3A aufbaut, proportional zu dem Signalanteil ist, der in Phase mit dem an den Steuereingang des IC6C angelegten Synchronisationssignal ist. Weil sich das Synchronisationssignal in Phase mit der Oszillatorspannung an den "Prüfwiderständen" R8A und R8B von Fig. 8 befindet, ist die Gleichspannung zwischen dem Ausgang des IC3A und dem nicht invertierenden Eingang des IC3A proportional zum dynamischen Leitwert der zu prüfenden Zelle/Batterie oder der Leitwertvorgabe.

Der Signalausgang des Synchrodetektors liegt am Differentialeingang des digitalen Voltmeters DVM-1 an den Anschlüssen IN HI und IN LO an. Damit ist die am DVM-1 angezeigte Gleichspannung ebenfalls proportional zum dynamischen Leitwert der zu prüfenden Zelle/Batterie oder der Leitwertvorgabe. Die Proportionalitätskonstante, die den Signalpegel von  $V_{aus}$  mit dem am DVM-1 angezeigten Wert in Beziehung setzt, wird durch das Verhältnis (R30/R28) bestimmt. Dieses Verhältnis wird so gewählt, daß der dynamische Leitwert am DVM-1 direkt in Siemens angezeigt werden kann, wenn der Funktionswahlschalter SW2 auf Position "Leitwert" steht. Der Schaltabschnitt SW2B des Funktionswahlschalters SW2 versetzt den angezeigten Dezimalpunkt beim Wechsel von der "Leitwert"-Anzeige (XX.XX Kilosiemens) zur "Prozentuale Kapazität"-Anzeige (XXX.X %). Das DVM-1 ist identisch mit dem DVM-2 und ist ein digitales Schalttafel-Meßinstrument vom Typ BL 100301 des Herstellers Modutec Incorporated, Norwalk, Connecticut.

Die Schaltung für die Gut/Schlecht-Anzeige umfaßt die IC3B, IC3C, IC13, die Widerstände R31 bis R34 und die Gut/Schlecht-Leuchtdiode. Der IC3B ist als Spannungsfolger mit Verstärkungsfaktor 1 konfiguriert, der mit der Niedrigpegelseite des Ausgangs des Synchrodetektors verbunden ist. Die Spannung am Ausgang des IC3B ist daher auf denselben Bezugspegel. Die Spannung an der verstellbaren Abgriffstelle des Trimmopotentiometers R32 ist gleich der Bezugsspannung zuzüglich eines weiteren einstellbaren Betrags vom IC13 und vom

Widerstand R31. Diese einstellbare Spannung wird an den invertierenden Eingang des Spannungskomparators IC3C angelegt. Die Hochpegel-Seite des Synchrondetektorausgangs ist über den Widerstand R34 mit dem nichtinvertierenden Eingang des Spannungskomparators IC3C verbunden. Wenn der Gleichspannungspegel des Synchrondetektorausgangs größer ist als die variable Spannung, die am unteren Teil des R32 abgegriffen wird, ist die Spannung am nichtinvertierenden Eingang des IC3C höher als die Spannung am invertierenden Eingang. In diesem Fall ist der Ausgang des IC3C im Zustand "High", und die Gut/Schlecht-Leuchtdiode erlischt. Wenn der Gleichspannungsausgang des Synchrondetektors diesen Wert unterschreitet, ist der Ausgang des IC3C "Low". Die Gut/Schlecht-Leuchtdiode leuchtet dann durch einen vom Widerstand R33 durchgelassenen Strom auf. Die Schwellspannung, die den Signalpegel festlegt, bei dem der Spannungskomparator den Zustand ändert, wird durch die Einstellung des R32 bestimmt. In der Praxis kann dieses Trimmpotentiometer zweckmäßig so eingestellt werden, daß es einer prozentualen Kapazität von 80 % entspricht. Wenn der Funktionswahlschalter SW2 auf Position "Leitwert" steht, zieht der Abschnitt SW2C den nichtinvertierenden Eingang des IC3C auf + 5 V, womit die Schaltung für die Gut/Schlecht-Anzeige gesperrt wird.

Es folgt eine Liste der Bauelement-Typen und -Werte des in Fig. 8, 9 und 10 dargestellten elektronischen Prüfgeräts:

BEZUGSZEICHENBAUELEMENTHalbleiter-Bauelemente

IC1, IC2, IC3	LM324N
IC4, IC5, IC6	CD4066B
IC7	LH0094CD
IC8, IC9	LM334Z
IC10, IC11, IC12, IC13	LM336Z-2.5
IC14	LM336Z-5.0
M1	IRFZ40 Leistungs-MOSFET
LED	T-1 3/4 rote Leuchtdiode

30.07.99

- 26 -

Widerstände (Ohm) (1/4 W, soweit nichts anderes angegeben ist)

R1	1,50 k
R2	1,00 k
R3	47 k
R4, R5	3,0 M
R6	0,5 - 5 Watt
R7	33 k
R8A, R8B	100
R9	22
R10, R11	33 k
R12	8,2
R13, R14	1,0 M
R15	150 k
R16	267 k
R17	10 k
R18	54,9 k
R19, R21	10,0 k
R20	100 k, einstellbar
R22	1 k Trimmnopoti
R23	75,0 k
R24	82,5 k
R25	18,7 k
R26	10,0 k
R27	90,0 k
R28	100 k
R29	49,9 k
R30	105 k
R31	10 k
R32	100 k Trimmnopoti
R33	1 k
R34	100 k

30.07.90

-27-

---

Kondensatoren,  $\mu\text{F}$

---

C1	4,7
C2, C7	10
C3	0,15
C4	0,27
C5, C6	22

---

Weitere Bauteile

---

DVM-1, DVM-2	Modutec BL100301
Gleichspannungswandler	Tri-Mag; 15 V @ 50 mA
SW1	1-polig, 2 Pos.
SW2	3-polig, 2 Pos.

Auch wenn vorstehend eine bestimmte Ausführungsweise der Erfindung beschrieben worden ist, ist davon auszugehen, daß im Rahmen der Erfindung Abwandlungsmöglichkeiten gegeben sind. Beispielsweise ist eine tragbare Ausführung für den Feldeinsatz offenbart worden. Jedoch könnten die Erfindung oder mehrere gleiche Erfindungen auch dauerhaft zur Überwachung der Energiekapazität der Batterien/Zellen einer Batterieanlage zugeordnet werden. Die spezielle offenbare Ausführungsform verwendet außerdem Analogschaltungen zum Vergleichen des gemessenen dynamischen Leitwerts mit einem Referenzwert und Bestimmen des Verhältnisses daraus. Dieses Verhältnis könnte jedoch ebenso gut von einem Mikroprozessor oder einem Rechner mathematisch durch Berechnung bestimmt werden. Außerdem könnte die digitale Anzeige der offenbarten Ausführungsform leicht durch analoge Anzeigen oder ein Computer-Endgerät oder einen Drucker ersetzt werden. Es wird davon ausgegangen, daß die genannten und weitere Abwandlungen im Rahmen der Erfindung liegen und von den anliegenden Ansprüchen gedeckt sind.

91 918 255.0-2214 (EP 0 548 266)

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bewerten der prozentualen Energiekapazität einer Zelle oder einer Batterie, das den Schritt des Bestimmens des dynamischen Leitwertes der Zelle oder Batterie aus der Reaktion auf ein sich zeitlich änderndes Signal beinhaltet, wobei das Verfahren die folgenden weiteren Schritte enthält:  
Festsetzen eines dynamischen Referenzleitwertes, der als dynamischer Leitwert einer identisch aufgebauten Zelle oder Batterie definiert ist, die eine im wesentlichen 100 %ige Energiekapazität aufweist,  
Bestimmen des Verhältnisses aus dem dynamischen Leitwert der Zelle oder Batterie und dem dynamischen Referenzleitwert, und  
Anzeigen dieses Verhältnisses und/oder Angeben, ob das Verhältnis kleiner als ein vorbestimmter Wert ist.
2. Elektronische Vorrichtung (4, 6, 8) zum Bewerten des Pegels einer in einer Zelle oder Batterie (26) gespeicherten Energiemenge relativ zu einem Referenzpegel, wobei die Zelle oder die Batterie einen dynamischen Leitwert ( $1/R_x$ ) aufweist, wobei die elektronische Vorrichtung ein Mittel (4, 36, 38, 44, 50, 52, 54) zum Auswerten des dynamischen Leitwertes aufweist, das mit der Zelle oder der Batterie verbunden ist und einen beobachteten dynamischen Leitwert bereitstellt und wobei die elektronische Vorrichtung weiterhin gekennzeichnet ist durch:  
Mittel (56, 60, 64, 68) zum Eingeben eines dynamischen Referenzleitwertes in die elektronische Vorrichtung,  
Mittel (4, 36, 38, 44, 52, 56) zum Vergleichen des beobachteten dynamischen Leitwertes mit dem dynamischen Referenzleitwert und Bestimmen des Verhältnisses hieraus, und  
ein auf das Verhältnis reagierendes Mittel (50, 70, 72) zum Bereitstellen einer Bewertung des Pegels der in der Zelle oder der Batterie gespeicherten Energiemenge relativ zu dem Referenzpegel.

3. Elektronische Vorrichtung nach Anspruch 2,  
bei der das auf das Verhältnis reagierende Mittel Mittel (70, 72) enthält, die eine Anzeige ausgeben, wenn das Verhältnis kleiner als ein vorbestimmter Wert ist.
4. Elektronische Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3,  
bei der das auf das Verhältnis reagierende Mittel ein numerisches Anzeigemittel (50) zum Anzeigen einer Zahl enthält, die proportional zu dem Verhältnis ist.
5. Elektronische Vorrichtung nach Anspruch 2, 3 oder 4,  
enthaltend Mittel (50, 52, 54), die auf den beobachteten dynamischen Leitwert reagieren, um den beobachteten dynamischen Leitwert anzuzeigen.
6. Elektronische Vorrichtung nach Anspruch 5,  
enthaltend:  
Leitwertstandard-Mittel (24) zum Bereitstellen eines Referenzstandardleitwerts und  
ein Kalibriereinstellmittel (38) zum Einstellen des beobachteten dynamischen Leitwertes, wobei das Mittel zum Auswerten in der Lage ist, den Leitwert des Referenzstandardleitwerts auszuwerten und wobei das Kalibriereinstellmittel (38) eingestellt wird, um das Mittel (50) zum Anzeigen des beobachteten dynamischen Leitwertes zu veranlassen, einen zum Referenzstandardleitwert passenden Wert anzuzeigen.
7. Elektronische Vorrichtung (4, 6, 8) zum Bewerten der Energiekapazität einer tiefentladbaren Zelle oder Batterie relativ zu der Energiekapazität einer identisch aufgebauten Referenzzelle oder Referenzbatterie, enthaltend Mittel, die mit der tiefentladbaren Zelle oder Batterie verbunden sind, die einen sich zeitlich ändernden Strom (16, A, B) durch die tiefentladbare Zelle oder Batterie leiten und die eine sich zeitlich ändernde Spannung (26, 28, 30, C, D) der tiefentladbaren Zelle oder Batterie erfassen, wobei die elektronische Vorrichtung weiterhin gekennzeichnet ist durch:  
Mittel (4, 36, 38, 44, 50, 52, 54) zum Bestimmen des Verhältnisses aus einem Teil des Stromes und einem Teil der Spannung, wobei sich diese Teile in Phase befinden,  
Mittel (52, 56) zum Vergleichen des Verhältnisses mit einem der identisch aufgebauten Referenzzelle oder Batterie entsprechenden Referenzverhältnis,

**30.07.99**

- 30 -

und

ein Mittel (50, 70, 72) zum Anzeigen des Ergebnisses des Vergleichs.

8. Elektronische Vorrichtung nach Anspruch 7,  
bei der das Mittel (50) zum Anzeigen des Ergebnisses des Vergleiches eine  
Zahl anzeigt, die proportional zu dem Verhältnis geteilt durch das Referenz-  
verhältnis ist.
9. Elektronische Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8,  
bei der das Mittel (70, 72) zum Anzeigen des Ergebnisses des Vergleiches  
anzeigt, ob das Verhältnis größer oder kleiner als ein bestimmter Bruchteil  
des Referenzverhältnisses ist.

0548266

30.07.99

1/1

Fig. 1

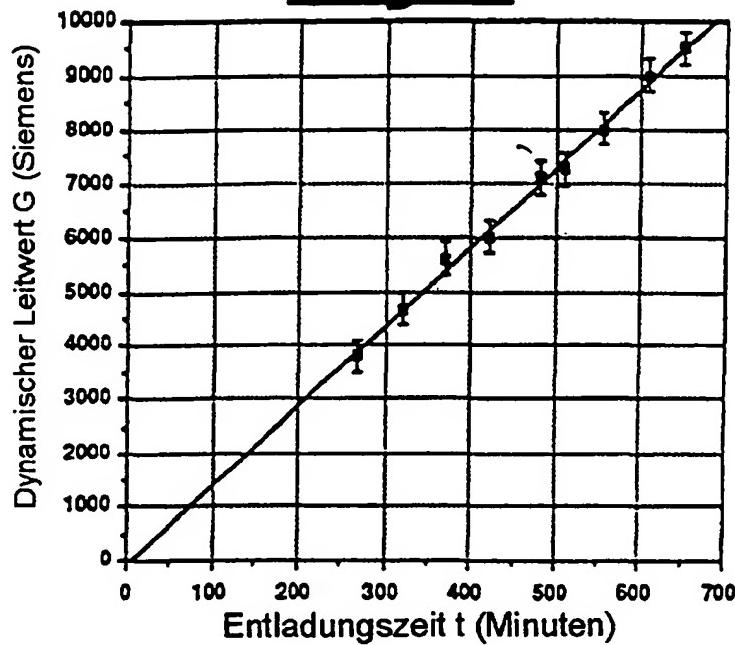
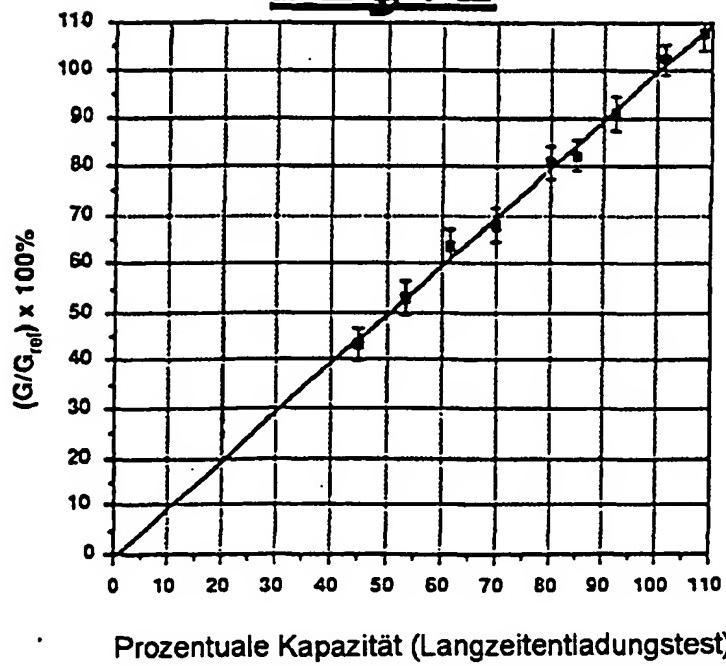


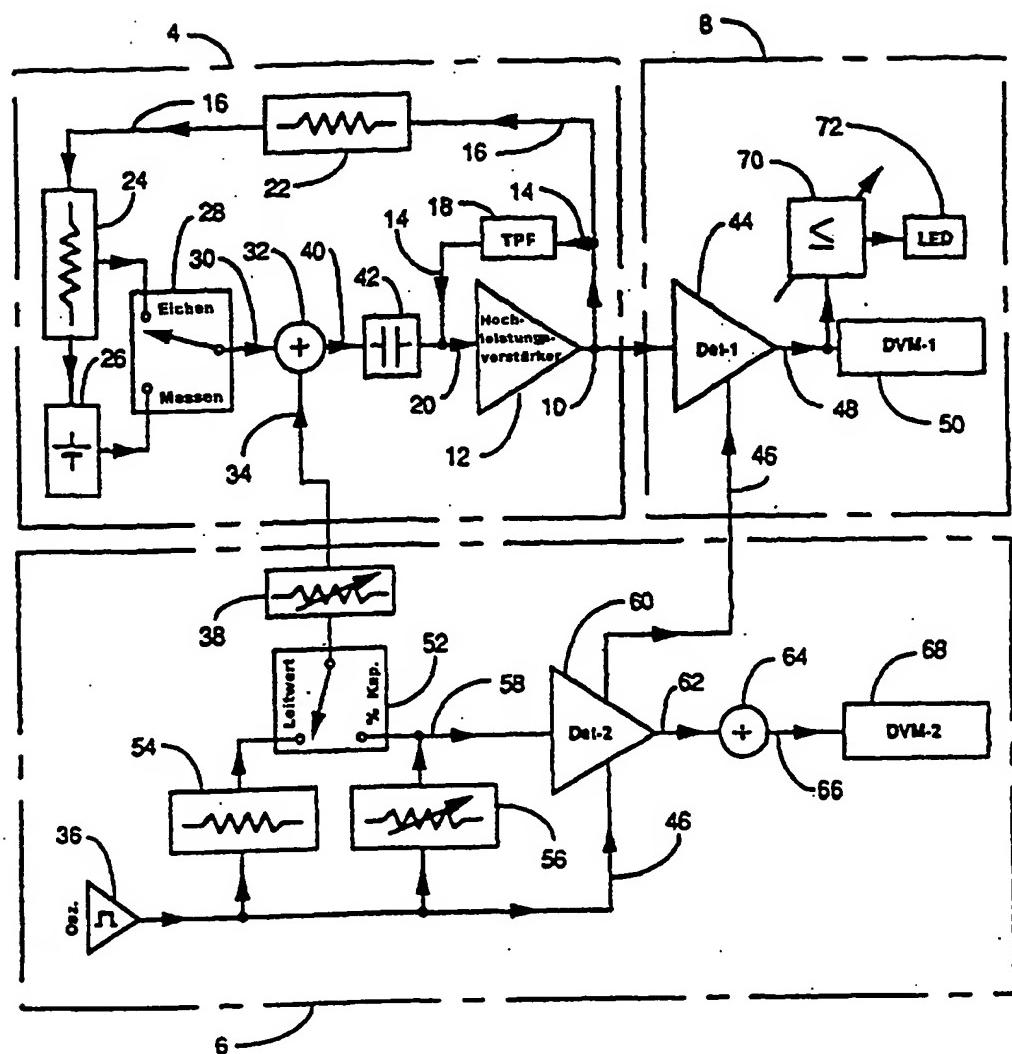
Fig. 2



30.07.99

2/7

Fig. 3



30.07.99

3/7

Fig. 4

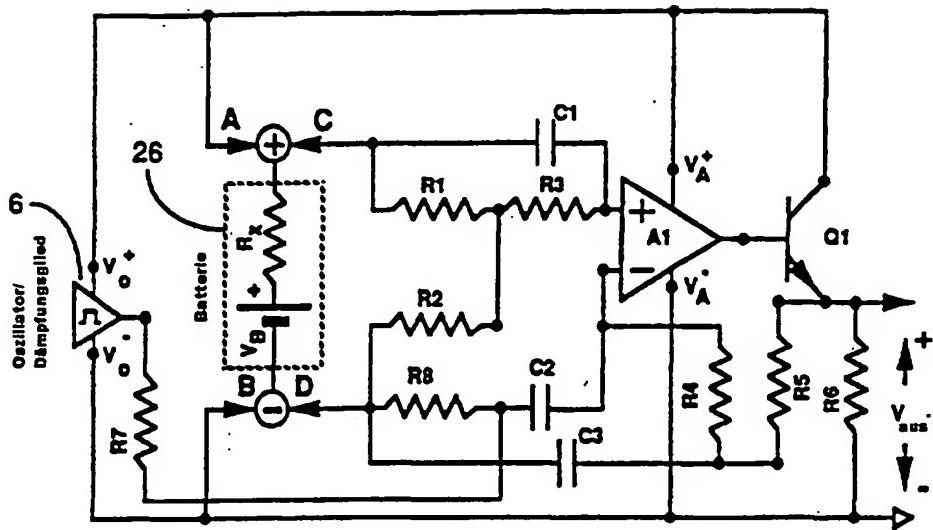
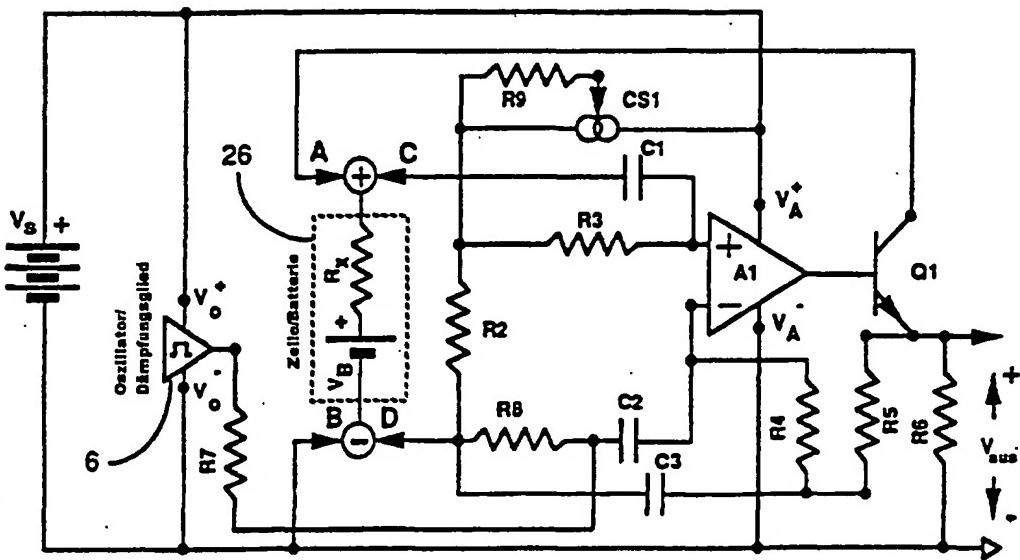


Fig. 5



30.07.99  
4/7

Fig. 6

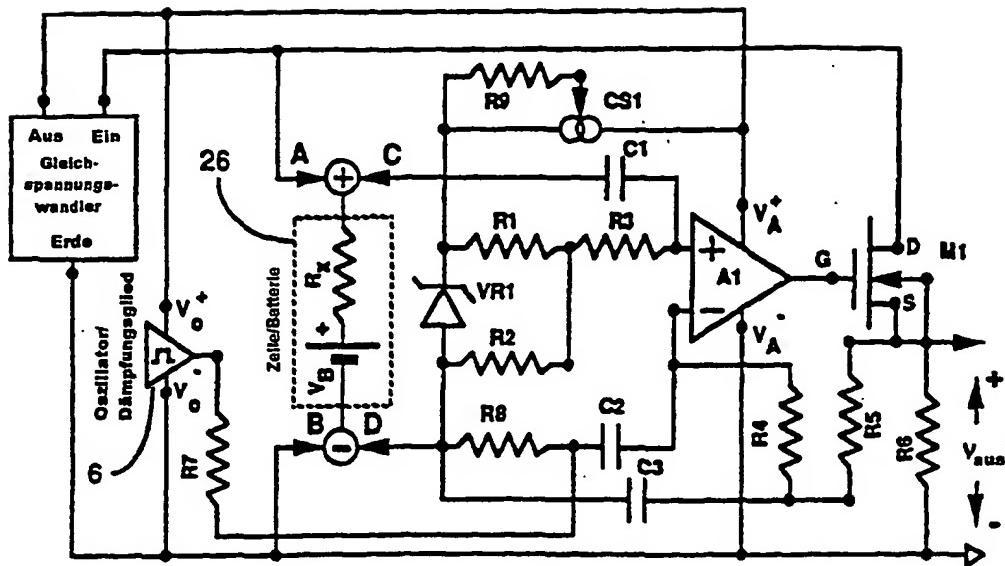
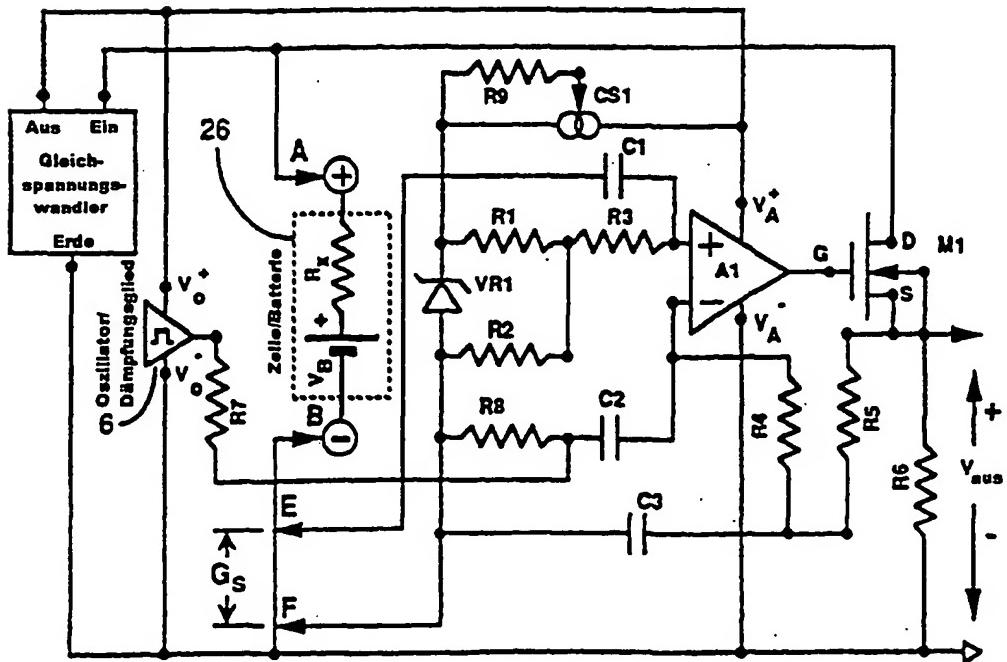


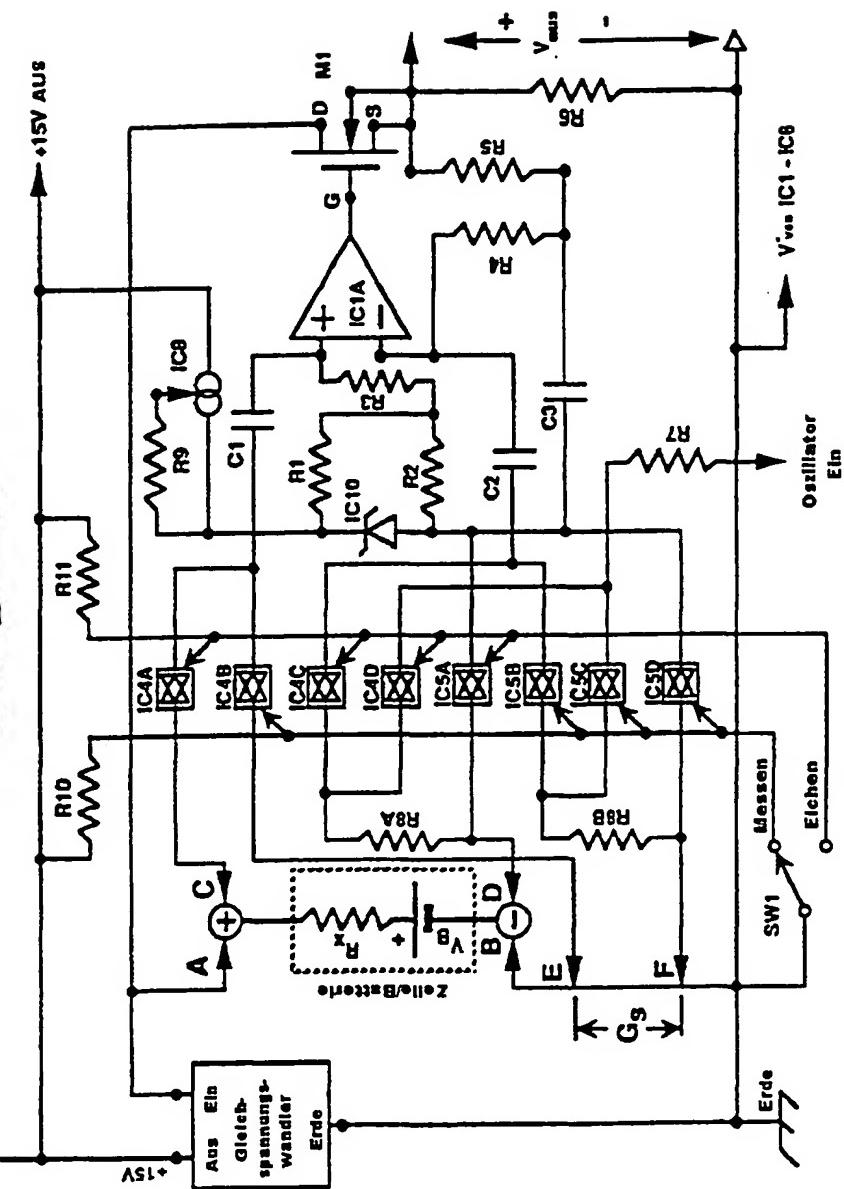
Fig. 7



30.07.99

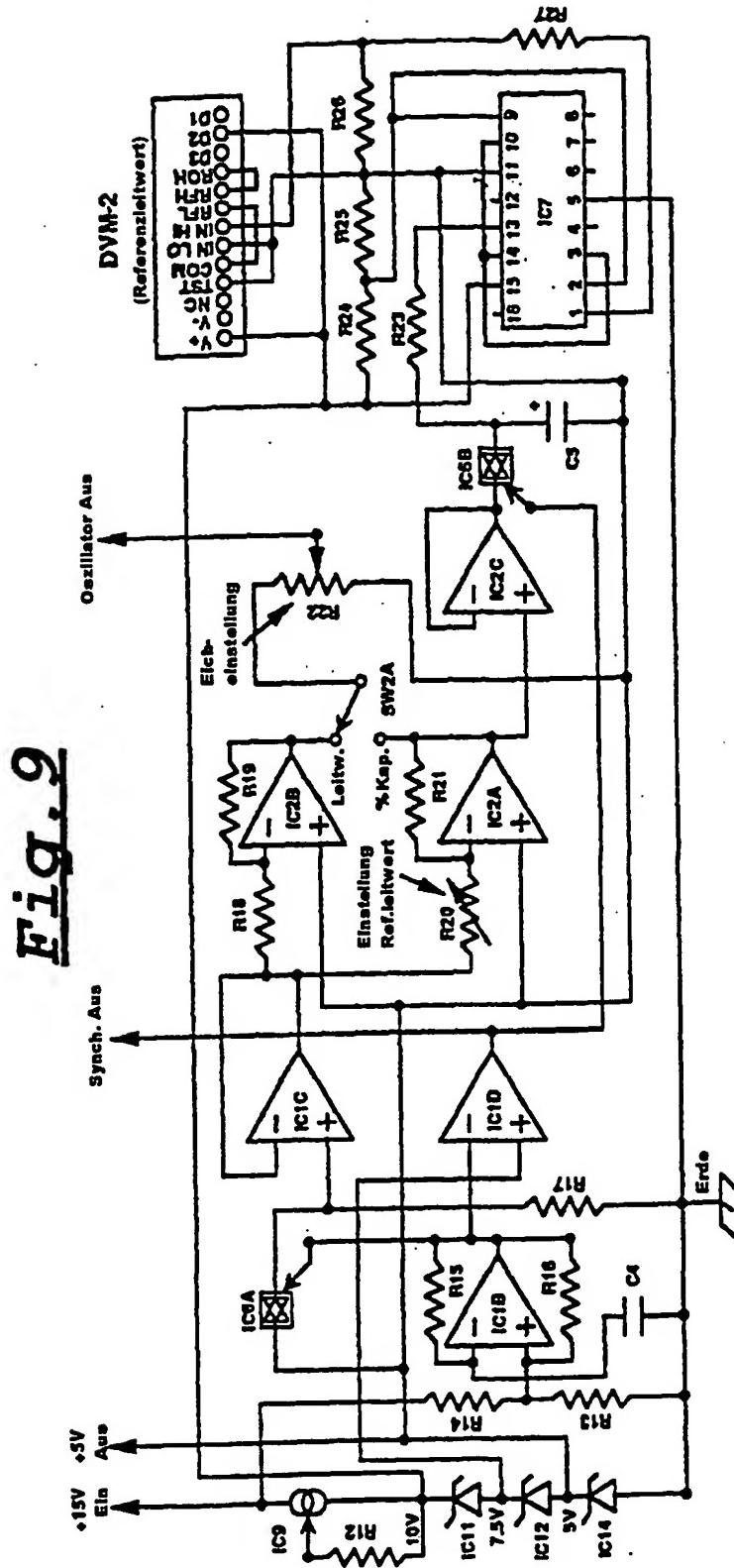
5/7

Fig. 8



30.07.99

6/7



30.07.99

ג/ה

Fig. 10

